

502-245

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

22 JUL 2004

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. Juli 2003 (31.07.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/062854 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01T (81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP03/00705
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
23. Januar 2003 (23.01.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
102 03 101.0 25. Januar 2002 (25.01.2002) DE  
102 12 223.7 19. März 2002 (19.03.2002) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): GESELLSCHAFT FÜR SCHWERIONEN-FORSCHUNG MBH [DE/DE]; Planckstrasse 1, 64291 Darmstadt (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): BERDERMANN, Elèni [GR/DE]; Josef-Schlicht-Strasse 7, 81245 München (DE). DE BOER, Wim [NL/DE]; Dekan-Hofheinz-Strasse 26, 76229 Karlsruhe (DE).
- (74) Anwälte: BOETERS, Hans, D. usw.; Boeters & Bauer, Bereiteranger 15, 81541 München (DE).
- (84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Veröffentlicht:  
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DETECTOR FOR DETECTING PARTICLE BEAMS AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung: DETEKTOR ZUR ERFASSUNG VON TEILCHENSTRAHLEN UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DESSELBEN

WO 03/062854 A2

(57) Abstract: The invention relates to a detector and a method for the production thereof for detecting a high energy and high intensity particle beam (2) that has a crystalline semiconductor plate (3) with a metal coating (4) which is arranged on a substrate (5), wherein the semiconductor plate (3) is a diamond plate (6) coated with metal structures (7, 8) on both sides. The metal structures (7, 8) have aluminum and/or aluminum alloys and form electrodes which can be connected with different electric potentials by means of strip conductors (10) on the substrate (5), wherein the substrate (5) is a ceramic plate (11) having a central opening (24) which is covered by the diamond plate (6).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Detektor und ein Verfahren zu seiner Herstellung zur Erfassung eines hochenergetischen und hochintensiven Teilchenstrahls (2), der eine kristalline Halbleiterplatte (3) mit Metallbeschichtung (4) aufweist und auf einem Substrat (5) angeordnet ist, wobei die Halbleiterplatte (3) eine Diamantplatte (6) ist, die beidseitig mit Metallstrukturen (7, 8) beschichtet ist. Die Metallstrukturen (7, 8) weisen Aluminium und/oder eine Aluminiumlegierung auf und bilden Elektroden, die mit unterschiedlichen elektrischen Potentialen über Leiterbahnen (10) auf dem Substrat (5) verbindbar sind, wobei das Substrat (5) eine Keramikplatte (11) mit einer zentralen Öffnung (24) ist, die von der Diamantplatte (6) abgedeckt wird.

**Detektor zur Erfassung von Teilchenstrahlen und Verfahren zur  
Herstellung desselben**

Die Erfindung betrifft einen Detektor zur Erfassung von Teilchenstrahlen, insbesondere von hochintensiven und hochenergetischen Teilchenstrahlen, der eine kristalline Halbleiterplatte mit einer Metallbeschichtung aufweist und auf einem Substrat angeordnet ist, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung gemäß der Gattung der unabhängigen Ansprüche. Unter hochintensiven Teilchenstrahlen werden in diesem Zusammenhang Teilchenstrahlen verstanden, die Pulspakete mit über  $10^5$  Teilchen pro Pulspaket und  $\text{mm}^2$ , vorzugsweise über  $10^7$  Teilchen pro Pulspaket und  $\text{mm}^2$  bis  $10^{13}$  Teilchen pro Pulspaket und  $\text{mm}^2$  umfassen.

Zur Erfassung von Teilchenstrahlen sind unterschiedliche Detektortypen, wie sie von P. Strehl im Handbook of Ion Sources, CRC-Press, 1995, Seiten 385 ff beschrieben werden, bekannt. In einem der Detektortypen, der von Roger Fourme in

dem Journal Nuclear Instruments Methods A 392, Seiten 1 bis 11, 1997 beschrieben ist, wird ein Draht verwendet, der von einem Detektorgas umgeben ist, so daß beim Durchgang von Teilchen durch das Detektorgas bzw. das Zählgas ein Signal von dem Draht abgenommen werden kann. Durch Aufspannen von Drahtgittern lässt sich auch eine örtliche Verteilung des Teilchenstrahls messen. Jedoch ist die Auflösung durch den Durchmesser des Drahtes im Bereich von 25  $\mu\text{m}$  und den erforderlichen Abstand von Draht zu Draht begrenzt. Hinzu kommt, daß bei hochintensiver Bestrahlung das Zählgas durch Plasma-bildung versagt.

Ein anderer Detektortyp weist eine Halbleiterplatte auf, insbesondere eine monokristalline Siliciumplatte, die beidseitig mit Gold beschichtet ist. Ein derartiger Detektor hat jedoch den Nachteil, dass die Siliciumplatte in ihrem Siliciumgitter des Diamanttyps bei hochintensiver Bestrahlung mit Partikelstrahlen Strahlungsschäden erleidet, was die Erzeugung von Fehlstellen zur Folge hat und die Ladungssammlungseffizienz des Detektors aus Silicium extrem vermindert und den Fehlstrom erhöht.

Versuche, statt der Siliciumplatte polykristalline Diamantplatten zur Messung hochintensiver Partikelstrahlen einzusetzen waren, trotz eines komplexen Aufbaus einer Metallisierung der Diamantplatten aus zunächst einer auf Diamant gut haftenden Titanbeschichtung oder Titan-/Wolframbeschichtung oder einer Chrombeschichtung und einer anschließenden Goldkontaktbeschichtung nicht erfolgreich.

Bisher können hochintensive Partikelstrahlen nur mit relativ unempfindlichen Strahltransformatoren gemessen werden, die

den Partikelstrahl mit Induktionswicklungen umschließen und erfassen.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen gegenüber Strahltransformatoren empfindlicheren Detektor zur Erfassung eines hochintensiven Teilchenstrahls zu schaffen, der die Nachteile im Stand der Technik überwindet und hochintensive sowie hochenergetische Teilchenstrahlen erfassen kann, ohne intensiv gekühlt zu werden. Ferner ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Detektors anzugeben.

Gelöst wird diese Aufgabe mit dem Gegenstand der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Erfindungsgemäß weist der Detektor als Halbleiterplatte eine Diamantplatte auf, die beidseitig mit Metallstrukturen beschichtet ist, wobei die Metallstrukturen Aluminium und/oder eine Aluminiumlegierung aufweisen. Die Metallstrukturen bilden Elektroden, die mit unterschiedlichen elektrischen Potentialen über Leiterbahnen auf dem Substrat verbindbar sind. Das Substrat weist eine Keramikplatte mit einer zentralen Öffnung auf, die von der Diamantplatte abgedeckt ist. Dabei können die beidseitigen Metallstrukturen im einfachsten Fall eine Vollbeschichtung auf beiden Seiten der Diamantplatte aufweisen, wobei lediglich eine Randzone auf beiden Seiten um die Metallisierung herum, freigehalten bleibt.

Dieser Detektor hat den Vorteil, daß er die Intensität eines hochintensiven Teilchenstrahls, insbesondere eines Ionenstrahls, messen kann, ohne intensiv gekühlt zu werden. Darüber hinaus können die Elektroden auf der Diamantplatte der-

art strukturiert sein, daß die Intensitätsverteilung über den Querschnitt des hochenergetischen Teilchenstrahls mit hoher Auflösung gemessen werden kann. Des weiteren kann mit dem Detektor auch die Intensitätsverteilung über der Zeit gemessen werden, so daß sich folgende wesentlichen Vorteile dieses Detektors aus einer Diamantplatte mit Aluminiummetallstrukturen ergeben:

- 1) eine unerwartet hohe Strahlungsresistenz des Detektoraufbaus bis zu höchsten Intensitäten von bis zu  $10^{13}$  Teilchen pro Pulspaket und pro  $\text{mm}^2$ , in Größenordnungen bis zu 100 Terra eV deponierter Energie in dem Detektor, bei Pulsbreiten von 100 ns bis 10 s;
- 2) eine hohe Zeitauflösung eines Teilchenstrahlimpulses bzw. Pulspaketes mit einer Zeitauflösung im Subnanosekundenbereich,
- 3) eine hohe Auflösung der räumlichen Verteilung des Strahls im Submillimeterbereich;
- 4) eine Intensitätserfassung des Strahls linear über mehr als 10 Größenordnungen, so daß selbst bei der höchsten Größenordnung von ca.  $10^{13}$  Partikeln pro Pulspaket und  $\text{mm}^2$  keine intensive Kühlung erforderlich wird und sogar nur 1 Partikel/ $\text{mm}^2$  mit dem erfindungsgemäßen Detektor erfasst werden kann.
- 5) eine Messsignalgröße, die um mehr als drei Zehnerpotenzen höher liegt als Messsignale konventioneller Strahltransformatoren.

Diese unerwarteten Vorteile beruhen möglicherweise auf der Art des Diamantenmaterials und der Art der Metallisierung, wobei die Ordnungszahl Z des Aluminiums nahe bei der Ordnungszahl Z des Kohlenstoffs angesiedelt ist, und somit der Ionisationsverlust im Aluminium sehr gut an den Ionisations-

verlust im Diamant angepaßt ist. Die beidseitig aluminisierte Diamantplatte bewirkt die Signalerzeugung durch entsprechende Elektronen-Lochpaarbildung in ihrem Volumen, die einen Stromfluß bilden, der an den auf hohen Spannungen liegenden Elektroden, bei elektrischen Feldstärken zwischen den Elektroden im Bereich von 0,5 V/Mikrometer bis 5 V/Mikrometer, im Kristall gemessen werden kann. Dabei stellt sich eine unerwartete Proportionalität zwischen der Intensität des hochenergetischen Teilchenstrahls und dem Signalstrom an den Elektroden des Detektors als weiterer Vorteil heraus.

Ein Detektor aus hochreinem Diamant hat den Vorteil, daß bei hochintensiven und hochenergetischen Teilchenstrahlen, insbesondere bei hochintensiven Ionenstrahlen, ein hohes Aufkommen an Elektronenlochpaaren auftritt, und daß die auf unterschiedlichen Potentialen liegenden Elektroden einen entsprechend hohen Signalstrom liefern können, mit dem ein Oszillograph unmittelbar angesteuert werden kann und somit ohne eine Zwischenverstärkung die Intensität des Ionenstrahls gemessen werden kann.

Da der Detektor aus hochreinem Diamant ein äußerst geringes Rauschen aufweist, kann durch einen geeigneten Verstärker auch ein einzelnes Teilchen nachgewiesen werden, so daß der Gesamtbereich der Intensität vom Einzelteilchen pro  $\text{mm}^2$  bis zu  $10^{13}$  Teilchen Pulspaket und pro  $\text{mm}^2$  gemessen werden kann. Ein derart weiter über mehr als zehn Größenordnungen ausgehnter Messbereich ist mit herkömmlichen Detektoren nicht erreichbar. Für die unteren Intensitätsbereiche mit bis zu  $10^5$  Teilchen pro Pulspaket können durchaus Diamantdetektoren mit herkömmlicher komplexer Metallisierung, eingesetzt werden. Für Intensitätsbereiche über  $10^5$  bis  $10^{13}$  Teilchen pro Pulspaket war es selbst mit Diamantplattendetektoren oder

auch andere herkömmliche Detektoren, nicht möglich, reproduzierbar und dauerhaft derartigen Pulspakete mit entsprechend hoher Auflösung zu messen. Erst der Aufbau des erfindungsgemäßen Detektors löste überraschend und unerwartet das Intensitätsmessproblem für hochintensive Teilchenstrahlen, insbesondere für einen Bereich zwischen  $10^7$  bis  $10^{13}$  Teilchen pro Pulspaket.

Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der Erfindung sieht vor, daß die Metallstrukturen auf der Oberseite und der Unterseite der Diamantplatte zwei geschlossene Metallschichten bilden. Derartige geschlossene Metallschichten auf der Unterseite und der Oberseite mit entsprechend dünner Aluminiumauflage haben den Vorteil, daß ein derart strukturierter Detektor die Gesamtzahl der durchgehenden Teilchen oder Intensität des hochenergetischen Teilchenstrahls erfassen kann. Dazu wird die Metallschicht auf der Unterseite auf ein Massepotential gelegt, und die Metallschicht auf der Oberseite auf ein Potential, das eine Feldstärke in der Diamantplatte im Bereich von  $0,5 \text{ V}/\mu\text{m}$  bis  $5 \text{ V}/\mu\text{m}$  erzeugt. Das bedeutet, dass bei einer mittleren Dicke der Diamantplatte von  $50 \mu\text{m}$  wird eine Spannung von 25 bis 250 V und bei entsprechend dickeren Diamantplatten entsprechend höhere Spannungen eingesetzt werden.

Um den Austritt der Feldlinien aus dem Randbereich des Detektors zu vermeiden und die dadurch entstehenden elektrischen Durchbrüche oder Kriechströme im Randbereich zu vermeiden, weisen die Randbereiche der Metallschichten auf der Unterseite und der Oberseite des Detektors nichtmetallisierte Randzonen auf. Diese nichtmetallisierten Randzonen weisen eine Breite auf, die mindestens der Dicke der Diamantplatte entspricht. Mit dieser Metallstruktur wird in vorteilhafter Weise die Kriechstromfestigkeit des Detektors erhöht.

Soll die Intensitätsverteilung der hochenergetischen Teilchen über dem Querschnitt eines Strahls gemessen werden, so können zwei unterschiedliche Metallstrukturanordnungen eingesetzt werden. In einer ersten vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird dazu auf der Unterseite der Diamantplatte eine geschlossene Metallschicht bereitgestellt, und die Struktur auf der Oberseite der Diamantplatte weist eine Vielzahl von mikroskopisch kleinen Kontaktflächen oder Metallstreifen auf. Unter mikroskopisch klein wird in diesem Zusammenhang eine Kontaktflächengröße oder Streifenbreite verstanden, die mit herkömmlichen mikroskopischen Maßstäben unter einem Lichtmikroskop erkennbar und messbar ist. Diese mikroskopisch kleinen Kontaktflächen oder Metallstreifen, die auf der Oberseite des Detektors gegenüber der Metallschicht auf der Unterseite des Detektors angeordnet sind, können über Bonddrähte mit Umverdrahtungsleitungen auf der Keramikplatte, die ihrerseits mit Auswerteschaltungen und/oder mit Außenanschlüssen des Detektors verbunden sind, elektrisch verbunden sein, oder sie werden über Leiterbahnen auf einer Isolationsschicht auf der Diamantplatte und über Umverdrahtungsleitungen auf der Keramikplatte mit Auswerteschaltungen oder mit den Außenanschlüssen des Detektors verbunden. Bei dieser Ausführungsform der Erfindung wird die Vielzahl von mikroskopisch kleinen Kontaktflächen in einem möglichst engen Rastermaß angeordnet, so daß eine große Flächenauflösung bis herunter zu weniger als 50 Mikrometern erreichbar ist.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung sieht dazu vor, daß die Metallstrukturen ein Gitternetz von Metallstreifen aufweisen, wobei die Metallstreifen auf der Unterseite der Diamantplatte rechtwinklig zu den Metallstreifen der Oberseite der Diamantplatte angeordnet sind. Mit diesem Muster läßt



sich ähnlich einem Drahtgittermuster die Diamantplatte in kleine Volumenelemente aufteilen, wobei jedes Volumenelement gegenüberliegende Elektroden aufweist, die von einer entsprechenden elektronischen Versorgungs- und Auswerteschaltung in Zeilen und Spalten abgetastet werden können, so daß ein klares Bild der Intensitätsverteilung über dem Querschnitt des Ionenstrahls mit einem derart strukturierten Detektor möglich wird.

Die einzelnen Streifen können leicht über Bonddrähte oder direkt mit Umverdrahtungsleitungen auf der Keramikplatte verbunden werden, die ihrerseits wiederum Kontaktanschlußflächen aufweist, welche mit Außenanschlüssen des Detektors verbunden werden können. Bei einem Schrittabstand von 20  $\mu\text{m}$  bis 50  $\mu\text{m}$  in jedem Streifenmuster können auf einer Platte von 10 x 10 mm unter Berücksichtigung eines nicht metallisierten Randes von 1 mm etwa 160 Streifen bei einer Schrittweite von 50  $\mu\text{m}$  untergebracht werden, so daß sich 25600 Kreuzungspunkte zwischen den Streifen auf der Oberseite und der Unterseite ergeben und damit 25600 Messpunkte möglich werden. Dieses ermöglicht eine genaue Positionsmessung des Ionenstrahls und eine genaue Profilmessung des Ionenstrahls.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung weist der Detektor einen Trägerrahmen auf, auf dem die Komponenten des Detektors fixiert sind. Ein derartiger Trägerrahmen hat den Vorteil, daß er der Keramikplatte eine ausreichende Unterstützung bietet und gleichzeitig den Detektor vor Beschädigungen schützen kann. Ferner kann dieser Trägerrahmen aus einem Metall aufgebaut sein und als Zuleitung für das Massepotential dienen. Dabei wird zwischen Trägerrahmen und Keramikplatte ein elektrisch leitender Gummielastischer Puffer aus Leitgummi eingebauten, der mechanische Verspannungen der zu-

gempfindlichen Keramikplatte verhindert, so dass eine hohe Lebensdauer des Detektors erreicht wird.

Ferner kann anstelle eines Aluminium-Trägerrahmens ein geschlossenes Detektorgehäuse aus Aluminium die Komponenten des Detektors aufnehmen und fixieren. Durch ein vollständig geschlossenes Detektorgehäuse aus Aluminium wird eine optimale Abschirmung gegen elektrische Störungen wie bei einem Faraday-Käfig gebildet. Ein derartiges Detektorgehäuse hat den Vorteil, dass es der Keramikplatte eine ausreichende Unterstützung bietet und gleichzeitig die Diamantplatte vor Beschädigungen schützen kann. Auch im Detektorgehäuse können gummielastische elektrischleitende Puffer eingebaut werden, um die Keramikplatte vor mechanischen Verspannungen zu schützen. Darüber hinaus kann das Detektorgehäuse aus Aluminium als Zuleitung für das Massepotential eingesetzt werden.

Die Öffnung in der Keramikplatte weist geringfügig kleinere Außendimensionen auf als die Detektorplatte bzw. die Diamantplatte selbst, die diese Öffnung abdeckt. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist diese Öffnung in der Keramikplatte kreisförmig. Eine derartige kreisförmige Öffnung mit einem entsprechenden Detektor wird dann eingesetzt, wenn erwartet wird, daß der hochintensive und hochenergetische Teilchenstrahl einen kreisrunden Querschnitt aufweist. Wird jedoch der Teilchenstrahl gescannt, so erweist sich eine viereckige Öffnung in der Keramikplatte als Vorteil, so daß in einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung der Detektor und die Keramikplattenöffnung viereckig ausgebildet sind.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Diamantplatte eine selbsttragende, durch chemische Gasphasenab-

scheidung gebildete polykristalline Diamantplatte, die eine Dicke im Bereich von 10  $\mu\text{m}$  bis 500  $\mu\text{m}$  vorzugsweise im Bereich von 50  $\mu\text{m}$  bis 200  $\mu\text{m}$  aufweist. Da Diamant ein äußerst fester und harter Werkstoff ist, sind Plättchen oder Platten bereits von 10  $\mu\text{m}$  Dicke durchaus selbsttragend herstellbar, so daß ein Dickenbereich von 10 bis 500  $\mu\text{m}$  realisierbar ist. Derartige Diamantplatten können zur Aufnahme der Metallisierung bzw. der Metallstrukturen auf beiden Seiten poliert sein, so daß völlig ebene Oberflächen entstehen. Dabei wird darauf geachtet, daß die Oberseite und die Unterseite planparallel zueinander liegen.

Die Polykristallinität der Diamantplatte in dieser Ausführungsform begrenzt jedoch die Signalhomogenität aufgrund der in der Diamantplatte auftretenden Korngrenzen. Deshalb ist es vorgesehen, in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, eine selbsttragende monokristalline Diamantplatte mit einer Dicke im Bereich von 50  $\mu\text{m}$  bis 500  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise von 50 bis 200  $\mu\text{m}$  einzusetzen. Bei Detektoren mit entsprechend strukturierten Elektroden auf jeder Seite der Diamantplatte ist sowohl die Strahlsintensität- und/oder Strahlprofilmessung als auch die Messung der zeitlichen Strahlverteilung unabhängig vom Auftreffort des Partikelstrahls realisierbar. Ferner ist bei einer derartigen Diamantplatte die vorher erwähnte Messauflösung von 25600 Messpunkten pro  $\text{cm}^2$  vorteilhafterweise erzielbar. Dazu kann die monokristalline Diamantplatte eine Umfangslänge von mehreren Zentimetern auf, vorzugsweise von 2 bis 6 cm aufweisen, was einer Fläche von etwa 5 x 5  $\text{mm}^2$  bis etwa 15 x 15  $\text{mm}^2$  entspricht.

Die oben erwähnten Umverdrahtungsleitungen auf der Keramikplatte können, wenn keine äußerst feine Struktur im Mikrometerbereich zu realisieren ist, aus gedruckten Dünnschicht-

oder Dickfilmleitungen bestehen und zusätzlich passive Bauelemente wie Widerstände, Kondensatoren und Spulen in gleicher Technik aufweisen. Somit kann auf der Keramikplatte eine bereits auswertende oder eine impedanzanpassende Schaltung zusätzlich zu den Umverdrahtungsleitungen vorgesehen werden. Insbesondere ist es von Vorteil, eine Impedanz in Dünnschichttechnik vorzusehen, die dem Innenwiderstand des auswertenden Oszillographen entspricht. Dieser Innenwiderstand des Oszillographen ist üblicherweise  $50 \Omega$ .

Ein Verfahren zur Herstellung eines Detektors zur Erfassung hochenergetischer und hochintensiver Partikelstrahlen, der eine kristalline Halbleiterplatte mit Metallbeschichtung aufweist und auf einem Substrat angeordnet ist, weist folgende Verfahrensschritte auf:

- Bereitstellen einer geeigneten Substratsplatte, vorzugsweise einer monokristallinen Diamantsubstratsplatte, oder einer monokristallinen Siliciumplatte oder einer Metallplatte eines Metalls mit einem Schmelzpunkt größer als  $1000^\circ\text{C}$ ,
- chemische Gasphasenabscheidung einer Diamantschicht aus Kohlenstoff, auf der Substratsplatte,
- Entfernen der Substratsplatte von der selbsttragenden Diamantschicht zur Bildung einer Diamantplatte,
- Beschichten der Oberseite und der Rückseite der Diamantplatte mit Metallstrukturen,
- Bereitstellen einer Keramikplatte mit zentraler Öffnung und Leiterbahnen und /oder Metallschichten mit Kontaktanschlußflächen und/oder passiven Bauelementen auf ihrer Oberseite und ganzflächiger Metallisierung auf ihrer Rückseite,

- Aufbringen der beidseitig metallisierten Diamantplatten auf die Keramikplatte unter Abdecken der zentralen Öffnung,
- Verbinden der Metallstrukturen der Diamantplatte mit Metallstrukturen auf der Keramikplatte,
- Fixieren der Detektorkomponenten auf einem Trägerrahmen unter Zuhilfenahme eines Halterahmens.

Dieses Verfahren hat den Vorteil, daß schrittweise zunächst das Herzstück des Detektors, nämlich eine Diamantplatte, hergestellt wird. Dazu kann mit dem ersten Schritt in vorteilhafter Weise der Diamantgittertyp beispielsweise einer monokristallinen Diamantsubstratsplatte oder einer Siliciumträgerplatte durch Anordnen von Kohlenstoffatomen auf diesem Diamantgittertyp derartiger Substratsplatten fortgesetzt werden, was bei einem monokristallinen Diamantsubstrat zu einer monokristallinen Diamantplatte führt. Jedoch enthält im Falle einer Siliciumträgerplatte der Diamantgittertyp beim Abscheiden nicht mehr Siliciumatome, sondern Kohlenstoffatome. Dieser Gitteraufbau mit unterschiedlicher Gitterkonstante führt zu einer polykristallinen Diamantschicht.

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens ist, daß nach dem Herstellen einer entsprechenden Schicht aus Diamant im Falle einer Siliciumträgerplatte oder einer Metallplatte diese abgetragen werden kann, zumal bei entsprechender Dicke von mindestens 10 µm die Diamantschicht zu einer selbsttragenden Platte geworden ist. Ein Vorteil der Substratsplatte aus einem Metall mit einem Schmelzpunkt über 1000 °C vorzugsweise aus Molybden, hat den Vorteil des Einsatzes einer möglichen hohen Reaktionstemperatur beim Abscheideverfahren einer Diamantbeschichtung, was eine Kohlenstoffabscheidung aus der Gasphase beschleunigen kann. Nach dem Entfernen verbleibt eine poly-

kristalline Diamantplatte einer Dicke von 10  $\mu\text{m}$  bis 1000  $\mu\text{m}$ . Die Substratsplatte kann auf ihrer Oberseite und auf ihrer Rückseite poliert werden, wenn eine ausreichende Dicke zwischen 100  $\mu\text{m}$  und 1000  $\mu\text{m}$  vorzugsweise zwischen 100  $\mu\text{m}$  und 500  $\mu\text{m}$  erreicht ist, so daß eine vollständig ebene Oberfläche für die Metallstrukturen bereitsteht.

Als Metall der Metallstrukturen auf der Diamantplatte wird in vorteilhafter Weise ein Aluminium oder eine Aluminiumlegierung eingesetzt, wobei die Ordnungszahl Z des Aluminiums nahe bei der Ordnungszahl Z des Kohlenstoffs angesiedelt ist, und somit der Ionisationsverlust in dem Aluminium an den Ionisationsverlust in dem Diamant angepaßt ist.

Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Verwendung einer Keramikplatte, die einerseits mikroskopische Teilstrukturen auf der Diamantplatte in makroskopische Metallstrukturen übertragen kann, so daß entsprechend große Außenanschlüsse für den Detektor an der Keramikplatte anbringbar sind. Makroskopisch heißt in diesem Zusammenhang, daß die Abmessungen dieser Strukturen so groß sind, daß sie mit bloßem Auge erkennbar und messbar sind. Diesem Zweck der Vergrößerung der Zugriffselemente dienen auch die entsprechend vorbereiteten Umverdrahtungsleitungen oder Leiterbahnen auf der Keramikplatte. Ohne derartige Umverdrahtungsleitungen und damit ohne derartige Flächen, wie sie die Keramikplatte zur Verfügung stellt, wäre ein Zugriff zu den mikroskopisch kleinen Strukturen auf der Diamantplatte nicht möglich.

Das Fixieren der Detektorkomponenten auf einem Trägerrahmen kann in vorteilhafter Weise durch einen Metallrahmen ebenfalls aus Aluminium sichergestellt werden. Derartige Aluminiumrahmen lassen sich leicht bearbeiten, und somit läßt sich

auch eine Keramikplatte bei entsprechend vorbereiteten Strukturen wie z.B. Bohrungen auf dem Trägerrahmen justieren und fixieren. Darüber hinaus weist Aluminium eine hohe Wärmeleitfähigkeit auf, so daß Wärme, die in der Diamantplatte entsteht, über die Keramikplatte an den Aluminiumrahmen und weiter an das Gehäuse einer Anlage, in welcher der Detektor eingesetzt ist, übertragen werden kann.

Zum Bereitstellen einer monokristallinen Siliciumträgerplatte kann zunächst eine monokristalline Siliciumscheibe aus einer monokristallinen Siliciumsäule gesägt werden. Anschließend wird die Scheibenoberfläche, auf der die Diamantplatte abgeschieden werden soll, chemomechanisch geläppt. Gleichzeitig wird sowohl beim Herstellen der monokristallinen Siliciumsäule als auch beim Schneiden der monokristallinen Siliciumscheibe auf eine zur Abscheidung von Diamant günstige Kristallorientierung geachtet. Das hat den Vorteil, daß die Oberfläche der monokristallinen Siliciumscheibe eine Orientierung aufweisen kann, die das orientierte, gleich ausgerichtete Aufwachsen von kristallinem Diamant im Diamantgitter auf der einen Diamantgittertyp aufweisenden Siliciumscheibe fördert.

Bei der chemischen Gasphasenabscheidung einer Diamantschicht aus Kohlenstoff auf der Substratsplatte wird in einer weiteren Ausführungsform der Erfindung eine carboorganische gasförmige Substanz als Reaktionsgas und Wasserstoff als Trägergas eingesetzt. Üblicherweise ist die carboorganische Substanz ein Methangas, das in einem Volumenanteil von 0,5 bis 2 Vol.% dem Wasserstoffgas zugesetzt wird, wobei sich der Kohlenstoff aus der gasförmigen carboorganischen Substanz auf der Substratsplatte abscheidet.

Nach der Abscheidung einer polykristallinen Diamantschicht auf der ein monokristallines Diamantgitter aufweisenden Substratsplatte wird diese von der selbsttragenden Diamantschicht in einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens mittels eines Plasmaätzverfahrens abgetragen. Anstelle eines Plasmaätzverfahrens können auch naßchemische Verfahren eingesetzt werden, bei denen im Falle einer Siliziumträgerplatte als Substratsplatte ein Gemisch aus Flußsäure und Salpetersäure eingesetzt, das Silicium auflöst bzw. abätzt, während die Diamantschicht als selbsttragende Diamantplatte erhalten bleibt.

Diese obigen Ätzverfahren haben den Vorteil, daß sie eine selbsttragende polykristalline Diamantplatte freilegen, die anschließend auf Oberseite und Rückseite bei ausreichende Dicke der Diamantplatte zwischen 100  $\mu\text{m}$  und 500  $\mu\text{m}$  chemomechanisch poliert werden kann.

Zum Beschichten der Oberseite und der Rückseite der Diamantplatte mit einer Metallschicht können ein Sputter-, ein Aufdampf- oder auch Sinterverfahren eingesetzt werden. Beim Sputterverfahren wird eine Metallplatte zerstäubt, wobei sich die zerstäubten Atome auf der Oberseite bzw. auf der Rückseite der Diamantplatte abscheiden und eine Metallschicht bilden.

Bei dem Aufdampfverfahren wird ein Aluminium in einem Schmelztiegel unter Vakuum erschmolzen und die Diamantplatte über dem Schmelztiegel in der Weise positioniert, daß sich der Aluminiumdampf auf der Diamantplatte als Metallschicht abscheiden kann. Bei einem Sinterverfahren wird eine Aluminiumpaste auf die Diamantscheibe aufgebracht und in einem entsprechenden Sinterofen das Bindemittel der Aluminiumpaste



verdampft und gleichzeitig eine Beschichtung aus Aluminium auf die Diamantplatte aufgesintert.

Mit jedem dieser Verfahren kann zunächst auf der Diamantplatte eine geschlossene Metallschicht abgeschieden werden, die anschließend strukturiert wird, wenn der Detektor eine ortsauflösende Struktur auf seiner Oberseite aufweisen soll.

So wird zum Beschichten der Oberseite und der Rückseite der Diamantplatte mit einer Metallstruktur zunächst eine Metallschicht aufgebracht, die anschließend mittels einer Photolithographie strukturiert wird. Dazu wird ein Photolack auf die Metallschicht aufgebracht und über eine optische Maske die Photolackschicht strukturiert, wodurch schließlich der Photolack nur die Teile der Metallschicht schützt, die als Kontaktschicht oder als Leiterbahnen auf der Oberseite der Diamantplatte verbleiben sollen, während die vom Photolack freigelegten Bereiche durch Belichten und Entwickeln des Photolackes in einem entsprechenden, oftmals alkalischen Bad abgelöst werden.

Diese Verfahren haben den Vorteil, daß sie sehr feinstrukturierte, in mikroskopisch kleinen Abmessungen darstellbare Leiterbahnen und Kontaktflächen auf der Diamantplatte realisieren können. Eine noch höhere Ortsauflösung des Detektors kann erreicht werden, wenn sowohl auf der Oberseite als auch auf der Rückseite ein metallisches Streifenmuster vorgesehen wird. Dieses Streifen- oder Gittermuster auf der Oberseite und der Rückseite wird in eine Metallschicht dadurch eingebracht, daß photolithographisch oder mittels Laserabtrag Längsnuten in die Metallschicht eingebracht werden, wobei Metallstreifen im Mikrometerbereich und Isolationsgräben oder Isolationsnuten im Submikrometerbereich realisierbar sind.

Eine derartige Diamantplatte mit einer metallischen Gitterstruktur auf beiden Seiten benötigt zur Ortsauflösung eine wesentlich komplexere Auswertung und Ansteuerung, um die Ortsverteilung eines hochintensiven Teilchenstrahls zu erfassen, jedoch hat es gleichzeitig den Vorteil, daß die Intensitätsverteilung eines Ionenstrahls mit einer Auflösung im Mikrometerbereich, vorzugsweise mit  $25 \times 25 \mu\text{m}^2$  bis  $250 \times 250 \mu\text{m}^2$  großen Pixeln erfolgen kann.

Es kann jedoch eine strukturierte Metallschicht auch unmittelbar aufgebracht werden, wenn der Auftrag des Materials durch eine Maske oder Schablone erfolgt.

Um von den mikroskopisch kleinen Strukturen in Form von Kontaktflächen und Leiterbahnen auf der Diamantplatte auf makroskopische Strukturen übergehen zu können, werden Umverdrahtungsleitungen, Kontaktanschlußflächen und/oder passive Bauelemente auf der größeren Keramikplatte mit makroskopischen Dimensionen realisiert. Diese können teilweise in Dünnschicht- oder Dickschichttechnik gebildet werden, soweit es passive Bauelemente und Kontaktanschlußflächen betrifft, während Umverdrahtungsleitungen, die von mikroskopischen Abmessungen zu makroskopischen Bauteilen und Anschlußflächen führen sollen, in der gleichen hohen Auflösung zu realisieren sind wie die entsprechenden Strukturen auf der Diamantplatte.

Für einen Detektor, der die Gesamtintensität eines Ionenstrahl-Pulspaketes messen soll, wird auf die metallisierte Diamantplatte beidseitig eine wenige Mikrometer dünne Metallschicht aufgebracht, wobei die obere Metallschicht für den Anschluss an eine entsprechende hohe Spannung vorzusehen ist

und die untere Metallschicht an eine Masseleitung auf der Keramikplatte angeschlossen wird.

In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird zum Verbinden der Metallstruktur auf der Oberseite der Diamantplatte mit den Umverdrahtungsleitungen auf der Keramikplatte ein Bondverfahren eingesetzt. Dazu werden entsprechende Bondflächen auf der Keramikplatte vorgesehen, so daß von entsprechenden Kontaktflächen auf der Diamantplatte dann Bonddrähte bis zu den Bondflächen auf der Keramikplatte gebondet werden.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel des Verfahrens wird zum Fixieren der Detektorkomponenten auf dem Trägerrahmen ein metallischer Halterahmen vorgesehen. Dieser metallische Halterahmen kann in vorteilhafter Weise auf den Trägerrahmen geschraubt sein und zwischen dem Trägerrahmen und dem Halterahmen die Keramikplatte aufnehmen und fixieren, wobei elektrisch leitende gummielastische Pufferelemente aus Leitgummi zwischen Keramikplatte und Trägerrahmen, sowie zwischen Keramikplatte und Halterahmen angeordnet werden. Dieses Leitgummi garantiert eine sichere Kontaktgabe und schützt die zugempfindliche Keramikplatte vor Beschädigungen bei Montage und beim Betrieb des Detektor. Dazu können in der Keramikplatte entsprechende Bohrungen vorgesehen werden, um eine genaue Ausrichtung der Keramikplatte in bezug auf die Leitgummielemente, Trägerplatte und den Halterahmen zu erreichen.

Die Verschraubung zwischen Halterahmen und Trägerrahmen kann gleichzeitig, durch den vorteilhaften Einsatz der Pufferelemente aus Leitgummi der Masseverbindung dienen. Somit ist es lediglich notwendig, eine entsprechende Umverdrahtungsleitung auf der Keramikplatte zu dem Halterahmen vorzusehen, wenn die

Schraubverbindung von dem metallischen Halterahmen zu einem metallischen Trägerrahmen ebenfalls aus Metallschrauben besteht, oder bei Metallisierung der Rückseite der Keramikplatte eine Verbindung zu der Metallisierung auf der Unterseite der Diamantplatte vorzusehen.

Der Detektor ist für hochintensive, hochenergetische Teilchenstrahlen einsetzbar, ohne daß seine Ober- oder Rückseite eine Beschädigung aufweist und das Material weder abgesputtert bzw. zerstäubt wird oder verdampft. Auch konnten überraschenderweise keine Löcher im Detektor nach vielfachem Einsatz zur Messung hochintensiver und hochenergetischer Ionenstrahlen festgestellt werden, obgleich von derartigen zu Pulspaketen zeitlich verdichteten und fokussierten Teilchenstrahlen eine intensive mechanische Schockbelastung der Detektorplatte ausgeht. Auch eine partielle kristalline Umstrukturierung des Diamantgitters in Graphitgitterbereiche innerhalb der Diamantplatte des Detektors konnte bei dieser extrem belastenden Verwendung nicht beobachtet werden.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsformen mit Bezug auf die beiliegenden Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen Detektor gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

Figur 2 zeigt eine schematische Draufsicht auf einen Detektor gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung.

Figur 3 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Diamantplatte eines Detektors.

- Figur 4 zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen Detektor gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung.
- Figur 5 zeigt eine Ansicht einer weiteren Diamantplatte eines Detektors.
- Figur 6 zeigt eine schematische Draufsicht auf einen Bereich einer Metallstruktur einer Oberseite einer Diamantplatte.
- Figur 7 zeigt einen schematischen Querschnitt eines Teils einer Diamantplatte entlang der Schnittlinie A-A der Figur 6.
- Figur 8 zeigt eine schematische Draufsicht auf einen Bereich einer Metallstruktur einer Oberseite einer Diamantplatte.
- Figur 9 zeigt einen schematischen Querschnitt eines Teils einer Diamantplatte entlang der Schnittlinie B-B der Figur 8.
- Figuren 10 bis 15 zeigen Prinzipskizzen von Zwischenprodukten, die bei der Herstellung einer Diamantplatte einer Ausführungsform der Erfindung schrittweise entstehen.
- Figur 16 zeigt ein Diagramm mit einem Vergleich der Messsignale eines herkömmlichen induktiven Strahlungsmonitors mit Strahltransformator und des erfindungsgemäßen Detektors, wobei die Messsignale von einem hochintensiven Pulspaket ausgelöst wird.

Figur 1 zeigt einen schematischen Querschnitt durch einen Detektor 100 gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Das Bezugszeichen 2 kennzeichnet einen Pfeil, der die Richtung eines hochintensiven und hochenergetischen Partikelstrahls andeutet, der in dieser Ausführungsform der Erfindung durch den Detektor 100 hindurchtritt. Dabei werden alle Oberflächen der Komponenten des Detektors 100, die stromaufwärts der Ionenstrahlrichtung 2 liegen, als Oberseiten bezeichnet und alle Oberflächen der Komponenten des Detektors, die stromabwärts der Ionenstrahlrichtung 2 angeordnet sind, werden als Rückseiten bezeichnet.

Das Bezugszeichen 3 kennzeichnet eine Halbleiterplatte. Das Bezugszeichen 4 kennzeichnet eine Metallbeschichtung, die doppelseitig auf die Halbleiterplatte 3 aufgetragen ist. Das Bezugszeichen 5 kennzeichnet ein Substrat, auf dem die Halbleiterplatte 3 mit ihrer doppelseitigen Metallbeschichtung 4 angeordnet ist. Das Bezugszeichen 6 kennzeichnet eine Diamantplatte, die in dieser Ausführungsform der Erfindung als Halbleiterplatte 3 eingesetzt wird. Das Material einer Diamantplatte 6 weist ein Diamantgitter aus Kohlenstoff auf. Das Bezugszeichen 7 kennzeichnet eine Metallstruktur auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 und das Bezugszeichen 8 kennzeichnet die Metallstruktur auf der Rückseite 33 der Diamantplatte 6. Das Bezugszeichen 9 kennzeichnet die Elektroden, die in dieser ersten Ausführungsform der Erfindung identisch mit der Metallbeschichtung 4 sind und aus einer geschlossenen Metallschicht 12 auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 bestehen und aus einer geschlossenen Metallschicht 13 auf der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 bestehen, wobei die Randbereiche von Oberseite 32 und Rückseite 33 frei von einer Metallbeschichtung gehalten sind.

Während die Elektrode 9 auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 über eine Bondverbindung 15 mit einer Kontaktanschlußfläche 22 auf dem Substrat 5 verbunden ist, ist die Elektrode 9 auf der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 über eine Metallstreifenbrücke 54 mit einer Metallschicht 17 auf dem Substrat 5 elektrisch verbunden. Das Bezugszeichen 11 kennzeichnet eine Keramikplatte, die als Substrat 5 in dieser Ausführungsform eingesetzt wird.

In dieser Ausführungsform der Erfindung wird die Keramikplatte 11 mittels eines metallischen Halterahmens 34 aus Aluminium auf einem metallischen Trägerrahmen 23 gehalten, der praktisch das Gehäuse des Detektors bildet. Elektrisch leitende gummielastische Bufferelemente 48 und 49, sind zwischen Trägerrahmen 23 und Keramikplatte 11 sowie Leiterrahmen 34 und Keramikplatte 11 angeordnet, und schützen die Keramikplatte 11 vor mechanischer Spannung, wobei zumindest der Puffer 48 zwischen der Rückseite 40 der Keramikplatte 11 und der Trägerplatte 23 auf Massepotential liegt, da der Trägerrahmen 23 mit Massepotential der nicht gezeigten Anlage verbunden ist. Über die Schraubverbindung 35 und den Halterahmen 34 aus Metall wird das Massepotential auf die Rückseite 40 der Keramikplatte 11 gelegt und ist über die Metallstreifenbrücke 54 mit der Metallschicht 13 der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 verbunden. Die Kontaktanschlußfläche 22 auf dem Substrat 5 kann eine gedruckte Dünnschicht- oder Dickschichtfläche sein, die mit zusätzlichen nicht gezeigten passiven Bauelementen 26 verbunden ist.

Während die Metallstruktur 8 auf der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 über eine Metallstreifenbrücke 54 auf Massepotential liegt, wird über die Kontaktanschlußfläche 22 und den

Bonddraht 15 eine Spannung an die Elektrode 9 der Oberseite 32 der Diamantplatte gelegt. Diese Spannung richtet sich nach der Dicke der Diamantplatte 6 und liegt in dieser Ausführungsform der Erfindung bei ca. 1 V pro  $\mu\text{m}$  Dicke. Die Dicke der Diamantplatte 6 ist in dieser Ausführungsform etwa 200  $\mu\text{m}$ , so daß über den Bonddraht 15 an die Metallstruktur 7 der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 eine Spannung von 200 V angelegt wird. Diese Spannung wird über eine Koaxialleitung 41 zugeführt deren Mantel 42 auf Masse liegt.

Beim Durchdringen des Teilchenstrahls in Pfeilrichtung 2 der Diamantplatte 6 werden Elektronen-Lochpaare generiert, die aufgrund der hohen Feldstärke getrennt werden und einen Strom, der proportional zur Intensität des Ionenstrahls ist, verursachen. Für eine ortsauflösende Erfassung des Ionenstrahls, das heißt, zur Erfassung des Profils des Ionenstrahls über seinem Querschnitt, kann die Metallstruktur 7 auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 in viele Einzelelektroden strukturiert sein, so daß entsprechend viele Bonddrähte 15 die Meßsignale zu entsprechenden Auswerteschaltungen ableiten. Dazu sind die Kontaktanschlußflächen 22 auf der Keramikplatte 11 entsprechend vervielfältigt und korrespondieren mit entsprechenden, vom Massepotential isolierten, nach außen geführten, in dieser schematischen Zeichnung nicht gezeigten Außenanschlüssen des Detektors 100.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung sind die in Figur 1 mit den Bezugszeichen 7 und 8 gekennzeichneten Metallstrukturen auf der Oberseite und/oder der Rückseite der Diamantplatte 6 keine Metallschichten, sondern gitterförmige Metallstreifen, die auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 parallel in einer Richtung laufen, zu der die Richtung der Metallstreifen auf der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 im



rechten Winkel angeordnet sind. In dem Fall entsprechen die Anzahl der Leiterbahnen auf der Keramikplatte 11 der Anzahl der Metallstreifen der Metallstruktur 8 auf der Rückseite der Diamantplatte 6.

Mit der streifenförmigen oder gitterförmigen Struktur der Metallbeschichtung 4 auf der Oberseite 32 und der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 kann eine maximale Ortsauflösung erreicht werden, jedoch sind zur Auswertung und Ansteuerung der Kreuzungspunkte der beiden Streifen- oder Gittermuster eine komplexe Ansteuerungs- und Auswerteschaltung erforderlich. Mit einem derartigen Detektor können hochintensive Partikelstrahlen, d.h. Teilchenstrahlen oder Ionenstrahlen oder Elektronenstrahlen, in einer zeitlichen Auflösung von Nanosekunden erfasst werden und in einer örtlichen Auflösung im Bereich von Mikrometern gemessen werden. Mit entsprechender Verstärkungshilfe können auch Einzelpartikel erfasst werden, so daß mit diesem Detektor ein Intensitätsbereich über mehr als 10 Größenordnungen von 1 bis etwa  $10^{13}$  Partikel pro Pulspaket und pro  $\text{mm}^2$  erfasst werden können. Dabei wird erwartet, dass hochintensive Pulspakete in der Größenordnung von  $10^5$  Partikel pro Pulspaket und pro  $\text{mm}^2$  bis  $10^{13}$  Partikel pro Pulspaket und pro  $\text{mm}^2$  keine Beschädigungen an dem Detektor hervorrufen. Selbst in einem bevorzugten Bereich zwischen  $10^7$  Partikel pro Pulspaket und pro  $\text{mm}^2$  bis  $10^{13}$  Partikel pro Pulspaket und pro  $\text{mm}^2$  kann das Detektorsignal proportional zu der Intensität des Teilchenstrahls sein.

Die Diamantplatte 6 ist bei dieser Ausführungsform der Erfindung polykristallin aus der Gasphase abgeschieden. Die zentrale Öffnung 24 in der Keramikplatte 11 ist der Größe der Diamantplatte 6 angepaßt, die mehrere  $\text{cm}^2$  groß sein kann. Für die Messung eines gescannten Ionenstrahls ist diese zentrale

Öffnung 24 und auch die Diamantplatte 6 viereckig. Für einen kreisrunden Ionenstrahl können die Diamantplatte 6 und die zentrale Öffnungen 24 kreisförmig ausgebildet sein.

Figur 2 zeigt eine schematische Draufsicht auf einen Detektor 200 gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in Figur 1 werden mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

Im Zentrum des Detektors 200 befindet sich eine zentrale Öffnung 24, die von der Diamantplatte 6 abgedeckt wird, durch die der Teilchenstrahl 2 hindurchtritt. Die Oberseite 32 der Diamantplatte 6 ist metallisiert und steht über eine Bondverbindung 15 und eine Kontaktanschlussfläche 22 mit einer Koaxialleitung 41 in Verbindung über die eine Messspannung zugeführt und das Detektorsignal abgeführt wird. Der Koaxialmantel 42 der Koaxialleitung 41 ist an einem Aufsatz 55 des Trägerrahmens 23 fixiert und liegt auf Massepotential.

Die Rückseite 33 der Diamantplatte 6 ist über eine hier nicht sichtbare Metallstreifenbrücke auf der Keramikplatte 11 mit der Rückseite 17 der Keramikplatte 11 verbunden. Der Halterahmen 34 ist über Schraubverbindungen 35 auf dem Trägerrahmen 23 fest verschraubt, so daß die Rückseite der Keramikplatte auf das Gehäuse gelegt ist und somit die Rückseite der Diamantplatte auf ein Massepotential gelegt werden kann. Beim Durchtreten eines Ionenstrahls durch die Diamantplatte 6 entsteht zwischen der Koaxialleitung 41 und dem Koaxialmantel 42, der hier mit der Trägerplatte 23 aus Metall verbunden ist, ein Strom, welcher der Intensität des Partikelstrahls 2 entspricht und zu der Intensität des Teilchenstrahls über mehr als 10 Zehnerpotenzen proportional ist.

Figur 3 zeigt einen schematischen Querschnitt durch eine Diamantplatte 6 eines Detektors 100. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in den vorhergehenden Figuren werden mit gleichen Bezugszahlen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

Die Diamantplatte 6 weist eine Dicke  $d$  auf, die auch entscheidend ist für die Potentialdifferenz zwischen der geschlossenen Metallschicht 8 auf der Rückseite 33 und der geschlossenen Metallschicht 7 auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6. Während die Metallschicht 13 auf der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 auf einer nicht gezeigten Keramikplatte ruht und über eine Metallstreifenbrücke 54 mit einer nicht gezeigten Metallbeschichtung auf der Rückseite der Keramikplatte in Verbindung steht, ist die Metallschicht 12 auf der Oberseite der Diamantplatte 6 mit Hilfe eines Bonddrahtes 15 mit einer Kontaktanschlußfläche auf der Oberseite des Keramiksubstrats verbunden.

Die in Figur 3 gezeigte Ausführungsform ist eine relativ einfache Ausführungsform der Diamantplatte 6 zur Ermittlung der Strahlintensität. Um jedoch den Ionenstrahl ortsabhängig zu vermessen, wird mindestens eine der Metallbeschichtungen 4 strukturiert und in einzelne mikroskopisch kleine und damit nur unter einem Lichtmikroskop messbare Kontaktflächen aufgeteilt. Zur ortsauflösenden Messung ist dann jede dieser Kontaktflächen auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 mit entsprechenden nichtgezeigten Außenanschlüssen des Detektors verbunden.

Figur 4 zeigt einen Detektor 300 einer dritten Ausführungsform der Erfindung. Komponenten mit gleichen Funktionen, wie

in den vorhergehenden Figuren werden mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

In Figur 4 ist der in Figur 1 gezeigte Trägerrahmen zu einem metallischen Detektorgehäuse 43 erweitert, das von einem metallischen Gehäusedeckel 44 abgeschlossen wird. Der metallische Gehäusedeckel 44 weist eine Öffnung 45 auf, die in Form und Größe der Diamantplatte 6 entspricht und der mindestens die Maße der zentralen Öffnung 24 der Keramikplatte 11 aufweist und auf diese zentrale Öffnung 24 ausgerichtet ist. Das Detektorgehäuse 43 weist eine Öffnung 50 in dem Gehäuseboden auf. Auch diese Öffnung 50 hat mindestens die Abmessungen der zentralen Öffnung 24 der Keramikplatte 11 und ist zu dieser ausgerichtet. Die Gehäusedeckelöffnung 45 und die Gehäusebodenöffnung 50 sind mit metallisierten Kaptonfolien 51 bzw. 52 abgedichtet. Somit, und durch das weitgehend geschlossene Detektorgehäuse aus Metall, das auf Massepotential liegt, ist die Diamantplatte 6 wie in einem Faraday'schen Käfig vor elektrischer Streustrahlung geschützt.

Die Diamantplatte 6 ist in ihrem nicht metallisierten Randbereich 53 mit einem isolierenden Klebstoff 46 auf die Oberseite 36 der Keramikplatte 11 geklebt. In einer anderen vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist die Keramikplatte 11 auf ihrer Rückseite 40 mit Metall beschichtet, wobei auch die Wandungen der zentralen Öffnung 24 eine Metallbeschichtung 47 aufweisen. Die Metallbeschichtung 47 steht in Kontakt mit der Metallschicht 13 auf der Rückseite 33 der Diamantplatte 6 und mit der Metallbeschichtung 17 der Rückseite 40 der Keramikplatte 11.

Eine elektrisch leitende gummielastischer Puffer 48 ist zwischen dem Detektorgehäuse 43 und der Metallbeschichtung 17

der Rückseite 40 der Keramikplatte 11 angeordnet. Dieser Puffer 48 bewirkt einerseits, dass das Detektorgehäuse 43 und die Rückseite 40 der Keramikplatte 11 elektrisch leitend verbunden sind und andererseits bildet der Puffer 48 aus Leitgummi einen Schutz der Keramikplatte vor Verspannungen insbesondere vor Zugbelastungen.

Eine weitere elektrisch leitende gummielastische Pufferscheibe 49 kann zwischen einer Befestigungsschraube 49 und der Oberseite 36 der Keramikplatte 11 angeordnet sein. Durch das Detektorgehäuse 43 ist eine Koaxialleitung 41 zur Messspannungszufuhr und Messsignalabgabe isoliert geführt, deren Koaxialmantel 42 auf dem Massenpotential des Detektorgehäuses 43 liegt.

Figur 5 zeigt eine perspektivische Ansicht einer weiteren Diamantplatte 6 eines Detektor. Während in den Figuren 1 bis 4 die Diamantplatte 6 vorzugsweise mit beidseitig geschlossenen metallisierten Ober- und Rückseite 32 bzw. 33 gezeigt werden, ist in der Ausführungsform gemäß Figur 5 die Metallschicht 7 der Oberseite 32 in Metallstreifen 20 mit einer Schrittweite von 25  $\mu\text{m}$  strukturiert, während die Metallschicht 8 der Unterseite 33 eine großflächige Elektrode bildet. Diese Strukturierung ermöglicht eine eindimensionale örtlichen Bestimmung einer Breite eines Partikelstrahls. Zweierartige Diamantplatte 6 übereinander gestapelt ermöglichen eine zweidimensionale örtliche Bestimmung der örtlichen Intensitätsverteilung eines Partikelstrahls.

Figur 6 zeigt eine schematische Draufsicht auf einen Bereich einer Metallstruktur 7 einer Oberseite 32 einer Diamantplatte 6. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in den vorher-

gehenden Figuren werden mit gleichen Bezugszahlen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

Die Metallstruktur 7 ist derart strukturiert, daß eine zweidimensionale ortsauflösende Messung eines Teilchen- bzw. Ionenstrahls möglich wird. Dazu sind bei gleichbleibendem Rastermaß mikroskopisch kleine Elektroden 9 mit einer Fläche von  $180 \times 180 \mu\text{m}^2$  auf der Oberfläche 32 der Diamantplatte 6 gleichmäßig verteilt angeordnet, zwischen denen Leiterbahnen 16 von  $0,5 \mu\text{m}$  Breite in Abständen von  $0,5 \mu\text{m}$  angeordnet sind, so dass für 20 nebeneinander angeordneter Leiterbahnen ein nicht sensitiver Streifen von  $20 \mu\text{m}$  zwischen den  $180 \mu\text{m}$  breiten sensitiven Elektroden erforderlich ist, um die 160 sensitiven Elektroden mit Kontaktflächen 14 im Randbereich der Diamantplatte 6 zu verbinden. Von diesen 160 Kontaktflächen 14 führen einzelne Bonddrähte 15 zu entsprechenden Kontaktanschlußflächen auf einem darunter liegenden, nicht gezeigten Substrat in Form einer Keramikplatte. Jede dieser Elektroden wird über die Bonddrähte 15 und die Leiterbahnen 16 mit einer Messspannung versorgt, so daß an jeder dieser Elektroden 9 die örtliche Intensität eines Ionenstrahls oder Partikelstrahls zweidimensional gemessen werden kann.

Figur 7 zeigt einen schematischen Querschnitt eines Teils einer Diamantplatte 6 entlang der Schnittlinie A-A der Figur 4. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in den vorhergehenden Figuren werden mit gleichen Bezugszahlen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

Der Querschnitt durch eine Diamantplatte 6 zeigt, daß die Rückseite 33 der Diamantplatte 6 mit einer geschlossenen Metallschicht von submikroskopischer Dicke als Masseelektrode belegt ist. Das Massepotential kann über eine Leiterbahn 10

auf dem nichtgezeigten Substrat an die Rückseite 33 der Diamantplatte 6 gelegt werden. Um das ortsauflösende Messergebnis an den Elektroden 9 von  $180 \times 180 \mu\text{m}^2$  Fläche nicht zu verfälschen, sind die Leiterbahnen 16 von  $0,5 \mu\text{m}$  Breite und die Kontaktanschlußflächen 14, die in Figur 4 gezeigt werden, auf einer Isolationsschicht 37 angeordnet, welche die Oberfläche der Diamantplatte 6 elektrisch isoliert und passiviert.

Die Isolationsschicht 37 kann aus Saphir, Siliciumnitrid, Siliciumcarbid, Bornitrid oder Siliciumdioxid aufgebaut sein. Entscheidend ist, daß selbst bei hochintensiven und/oder hochenergetischen Teilchenstrahlen diese Isolationsschicht strahlungsresistent bleibt und nicht elektrisch leitend wird.

Figur 8 zeigt eine schematische Draufsicht auf einen Bereich einer Metallstruktur 7 einer Oberseite 32 einer Diamantplatte 6. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in den vorhergehenden Figuren werden mit gleichen Bezugswahlen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

Das Bezugszeichen 19 kennzeichnet ein Gitternetz aus Metallstreifen 20 auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6. Die auf der Oberseite 32 angeordneten Metallstreifen sind mit durchgezogenen Linien markiert, während die Metallstreifen auf der Rückseite der Diamantplatte 6 durch gestrichelte Linien angedeutet werden. Diese Streifenstruktur hat den Vorteil, daß jeder Streifen im Randbereich durch einen Bonddraht 15 in Form eines Flachleiters kontaktiert werden kann, ohne daß Leiterbahnen wie in Figur 6 auf der Oberseite 32 der Diamantplatte 6 vorzusehen sind.

Ein weiterer Vorteil dieser Ausführungsform der Erfindung gegenüber der Ausführungsform nach Figur 6 ist, daß keine Isolationsschichten vorzusehen sind und das ortsauflösende Ergebnis nicht von Leiterbahnen oder Kontaktanschlußflächen verfälscht werden kann. Dieses wird dadurch erreicht, daß die Unterseite der Diamantplatte keine geschlossene Metallfläche in Form eines Metallspiegels aufweist, sondern ebenfalls in Metallstreifen strukturiert ist. Die Ansteuerung und Messelektronik für einen derartigen Detektor mit Diamantplatte wird jedoch komplexer und aufwendiger als in den vorhergehenden Ausführungsformen, zumal jeder Kreuzungspunkt einzeln und nacheinander anzusteuern ist, um eine maximale Ortsauflösung zu gewährleisten. Schon bei einer Streifenstruktur von nur 10 Streifen pro Quadratzentimeter Fläche der Detektorplatte 6 ergeben sich 100 Meßpunkte oder 100 Kreuzungspunkte, die nacheinander anzusteuern sind. Wird die Zahl der Streifen auf der oberen und unteren Seite verdoppelt, so vervierfachen sich bereits die Meßpunkte. Somit kann zwar eine hohe Dichte an Meßpunkten erreicht werden, jedoch steigt natürlich der Aufwand für die Ansteuerungs- und Erfassungsschaltungen quadratisch mit der Anzahl der Metallstreifen auf der Oberseite 7 der Diamantplatte 6.

Figur 9 zeigt einen schematischen Querschnitt eines Teils einer Diamantplatte 6 entlang der Schnittlinie B-B der Figur 8. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in den vorhergehenden Figuren werden mit gleichen Bezugszahlen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

Die Figur 9 zeigt, daß die obere Streifenstruktur 20 und die untere Streifenstruktur einander gegenüberliegen, wobei die Metallstreifen 21 der unteren Streifenstruktur unmittelbar über Leiterbahnen 10 auf einem nicht gezeigten Substrat elek-



trisch verbunden sind. Die oberen Streifen 20 hingegen müssen über Bondverbindungen 15 mit entsprechenden Umverdrahtungsleitungen auf dem Substrat erst verbunden werden. Zur ortsauflösenden Messung werden jeweils an zwei Streifen 20 bzw. 21, nämlich einem Streifen 20 auf der Oberseite 32 und einem Streifen 21 auf der Unterseite 33, eine Messspannung (Signalpuls) ausgelesen, falls durch diesen Punkt des Detektors ein Teilchen durchgegangen ist. Diese Messspannung wird in schneller Folge, beispielsweise mit einem Schieberegister von jedem getroffenen Kreuzungspunkt abgenommen und in einen Speicher geschoben, so daß sämtliche Messpunkte auf der Diamantplatte 6 in weniger als 1  $\mu$ s erfassbar sind. Ein derartiges Muster hat jedoch eine Grenze, indem die Zahl der Messpunkte nicht beliebig erhöht werden kann, insbesondere falls bei gepulsten Betrieb die Partikelstrahlen gebündelt bzw. fokussiert mit hoher Intensität nur für Bruchteile von Mikrosekunden die Diamantplatte durchdringen.

Die Figuren 10 bis 15 zeigen Prinzipskizzen von Zwischenprodukten, die bei der Herstellung einer Diamantplatte 6 einer Ausführungsform der Erfindung schrittweise entstehen. Komponenten mit gleichen Funktionen wie in den vorhergehenden Figuren werden in den folgende Figuren mit gleichen Bezugszahlen gekennzeichnet und nicht extra erörtert.

Figur 10 zeigt eine ein Substratsplatte 27. Eine derartige Substratplatte 27 kann aus einer Metallplatte eines Metalles, wie Molybden, das einen Schmelzpunkt über 1000 °C aufweist, hergestellt sein oder eine monokristalline Siliciumscheibe darstellen.

Auf der ätzmechanisch geläppten Oberseite 31 der Substratplatte 27 wird in Figur 11 aus einem Gasstrom 38, der ein

Trägergas aus Wasserstoff, das mit einer carboorganischen Substanz angereichert ist, Kohlenstoff auf der Substratplatte 27 abgeschieden, so daß auf der Oberseite 31 eine polykristalline Diamantschicht 28 in einer Dicke  $d$  abgeschieden wird.

Die Dicke  $d$  liegt bei dieser Ausführungsform mit  $200\text{ }\mu\text{m}$  im Bereich von  $50$  bis  $500\text{ }\mu\text{m}$  und ist derart stabil, daß, wie in Figur 12 gezeigt, die Substratplatte 27 weggeätzt werden kann, so daß zunächst eine Rohdiamantplatte aus polykristallinem Material vorliegt. Diese Diamantplatte kann an ihrer Oberseite 32 und ihrer Unterseite 33 ätzmechanisch poliert werden, falls eine ausreichende Dicke  $d$  zwischen  $100\text{ }\mu\text{m}$  und  $500\text{ }\mu\text{m}$  vorliegt, so daß sie eine Diamantplatte 6 mit gleichförmiger Dicke  $d$  für einen Detektor aufweisen kann.

Nach der chemischen Gasphasenabscheidung und dem eventuellen Polieren der Oberseite 32 und der Unterseite 33 wird, wie in Figur 13 gezeigt, auf die Oberseite 32 eine strukturierte Isolationsschicht 37 aufgebracht, in der Fenster 39 von beispielsweise  $180 \times 180\text{ }\mu\text{m}^2$  zur Oberseite 32 der Diamantplatte 6 offenbleiben, so daß im nächsten Verfahrensschritt, der in Figur 14 gezeigt wird, eine geschlossene Metallbeschichtung 4 sowohl auf der Isolationsschicht 37 als auch in den Fenstern 39 aufgebracht werden kann. Gleichzeitig oder anschließend kann auch die Rückseite 33 mit einer geschlossenen Metallschicht versehen werden.

Anschließend wird die geschlossene Metallbeschichtung 4 auf der Oberseite 32, wie in Figur 15 gezeigt, strukturiert, so daß auf der Isolationsschicht 37 eine Leiterbahnstruktur 29 entsteht, während einzelne voneinander isolierte Elektroden 9 in den Fenstern 39 verbleiben. Die damit erzeugte Struktur

entspricht der Struktur, wie sie oben anhand der Figuren 6 und 7 erörtert wird.

Figur 16 zeigt einen Vergleich der Messesignale eines herkömmlichen induktiven Strahlmonitors und des erfindungsgemäßen Detektors. Bisher werden Strahlungsintensitäten von über  $10^5$  Partikel pro Pulspaket mit induktiven Strahlmonitoren mittels eines Strahltransformators gemessen, da konventionelle Diamantplatten mit konventioneller Metallisierung bei derart hohen Intensitäten versagen. Für den Vergleich der Messsignale wurde die Strahlenintensität sukzessive bis zu  $10^{10}$  Partikel pro Pulspaket erhöht.

Als Partikelstrahl wurde für den in Figur 16 abgebildeten Vergleich ein sechsfach geladener Sauerstoffstrahl ( $^{16}\text{O}$ , 6+) mit einer kinetischen Energie von 300 MeV/amu und einer Intensität von  $2 \times 10^8$  Ionen pro Pulspaket vermessen. Dabei wurde die Kurve a mit einem erfindungsgemäßen Diamantdetektor aufgenommen und die Kurve b mit einem konventionellen Strahlmonitor erfasst. Für den in Figur 16 dargestellten Vergleich musste jedoch das Messsignal des konventionellen Strahlmonitors mit dem Faktor 1000 multipliziert werden, um auf der gemeinsamen Darstellung der Figur 16 in sinnvoller Weise die Messsignale des Strahlmonitors mit dem 2000-mal größeren Signalen des erfindungsgemäßen Diamantdetektors vergleichen zu können. Die Darstellung verdeutlicht, dass die Kurven a und b die gleiche zeitliche Intensitätsverteilung mit jeweils drei Spitzenwerten  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  bzw.  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  abbilden, jedoch zeitlich gegeneinander versetzt sind, da der Strahlmonitor stromaufwärts von dem Diamantdetektor bei diesem Messvergleich angeordnet ist. Die Messsignale des Diamantdetektors wurden für den Vergleich weder verstärkt noch mit einem Faktor multipliziert im Gegensatz zu den wesentlich schwächeren

Messsignalen des herkömmlichen induktiv gekoppelten Strahlmonitors.

**Bezugszeichenliste**

100,	Detektor
200,	Detektor
300,	Detektor
2	Teilchenstrahl bzw. Partikelstrahl
3	Halbleiterplatte
4	Metallbeschichtung
5	Substrat
6	Diamantplatte
7	Metallstruktur auf der Oberseite der Diamantplatte
8	Metallstruktur auf der Unterseite der Diamantplatte
9	Elektroden
10	Leiterbahn auf dem Substrat
11	Keramikplatte
12	Metallschicht der Oberseite
13	Metallschicht der Unterseite
14	Kontaktfläche auf der Diamantplatte
15	Bonddrähte
16	Leiterbahn auf Diamantplatte
17	Metallschicht auf der Unterseite der Keramikplatte
19	Gitternetz
20	Metallstreifen auf der Oberseite
21	Metallstreifen auf der Unterseite der Diamantplatte
22	Kontaktanschlußflächen auf der Keramikplatte
23	Trägerrahmen
24	zentrale Öffnung der Keramikplatte
27	Substratplatte zur Abscheidung von Diamant
28	Diamantschicht
29	Leiterbahnstruktur

31	Oberfläche der Substratplatte
32	Oberseite der Diamantplatte
33	Rückseite der Diamantplatte
34	Halterahmen
35	Schraubverbindung
36	Oberseite der Keramikplatte
37	Isolationsschicht auf der Diamantplatte
38	Gasstrom
39	Fenster
40	Rückseite der Keramikplatte
41	Koaxialleitung
42	Mantel der Koaxialleitung
43	Detektorgehäuse
44	Gehäusedeckel
45	Gehäusedeckelöffnung
46	isolierender Klebstoff
47	Metallbeschichtung von Wandungen
48	gummielastischer leitender Puffer
49	gummielastische leitende Pufferscheibe
50	Öffnung im Gehäuseboden
51	Kleptonfolie auf Gehäusedeckelöffnung
52	Kleptonfolie auf Gehäusebodenöffnung
53	Randbereiche der Diamantplatte
54	Metallstreifenbrücke
55	Aufsatz
a	Messkurve mit Detektor gemessenen
b	Messkurve mit Strahltransformator gemessenen
$a_1, a_2, a_3$	mit Detektor gemessene Spitzenwerte
$b_1, b_2, b_3$	mit Strahltransformator gemessene Spitzenwerte
d	Dicke der Diamantplatte
A-A	Schnittlinie in Figur 6
B-B	Schnittlinie in Figur 8

**Referenzen:****1. Vieldrahtzähler:**

a) Roger Fourme, "Position-sensitive gas detectors: MWPCs and their gifted descendants", Nuclear Instruments Methods A 392 (1997) 1-11

**2. Diamantzähler:**

a) E. Berdermann et al., "The use of CVD-diamond for heavy-ion detection", Diamond and Related Materials 10 (2001) 1770-1777

b) W. Adam et al., "Performance of irradiated CVD diamond micro-strip sensors", Nuclear Instruments Methods A 476 (2002) 706-712

3. Berdermann et al., "Diamond Detectors 2001 - Application for Minimum Ionizing Particles", GSI Jahresbericht 2001, p. 214

4. P. Strehl "Ion beam diagnosis", in B. Wolf (Ed.) Handbook of Ion Sources, CRC Press (1995 )p. 385

### Ansprüche

1. Detektor zur Erfassung eines hochintensiven und hochenergetischen Teilchenstrahls (2), der eine kristalline Halbleiterplatte (3) mit Metallbeschichtung (4) aufweist und auf einem Substrat (5) angeordnet ist,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Halbleiterplatte (3) eine Diamantplatte (6) ist, die beidseitig mit Metallstrukturen (7, 8) beschichtet ist, wobei die Metallstrukturen (7, 8) Aluminium und/oder eine Aluminiumlegierung aufweisen und wobei die Metallstrukturen (7, 8) Elektroden (9) aufweisen, die mit unterschiedlichen elektrischen Potentialen über Leiterbahnen (10) auf dem Substrat (5) verbindbar sind und wobei das Substrat (5) eine Keramikplatte (11) mit einer zentralen Öffnung (24) aufweist, die von der Diamantplatte (6) abgedeckt ist.

2. Detektor nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Metallstrukturen auf Oberseite (7) und Unterseite (8) der Diamantplatte (6) zwei unstrukturierte geschlossene Metallschichten (12, 13) bilden, wobei die Metallschicht (13) der Unterseite (33) ein Massepotential aufweist und der Metallschicht (12) der Oberseite (32) auf einem Potential liegt, bei dem die Diamantplatte (6) eine Feldstärke im Bereich von 0,5 bis 5 Volt pro Mikrometern aufweist.

3. Detektor nach Anspruch 2,  
**dadurch gekennzeichnet,**



daß die Metallstrukturen (7, 8) auf der Oberseite (32) und auf der Unterseite (33) der Diamantplatte (6) einen nicht metallisierten Randbereich (53) aufweisen.

4. Detektor nach Anspruch 1 oder Anspruch 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Diamantplatte (6) an ihrer Oberseite (32) und ihrer Rückseite (33) nicht metallisierte Randbereiche in einer Breite, die mindestens der Dicke der Diamantplatte (6) entspricht, aufweist.

5. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Metallstruktur (8) auf der Unterseite (33) der Diamantplatte (6) eine geschlossene Metallschicht (13) aufweist und die Metallstruktur (7) auf der Oberseite (32) der Diamantplatte (6) eine Vielzahl von mikroskopisch kleinen Kontaktflächen (14) oder Metallstreifen (20) aufweist, die über Bonddrähte (15) und/oder Leiterbahnen (16) auf der Keramikplatte (11) mit Außenanschlüssen des Detektors (100, 200, 300) verbunden sind.

6. Detektor nach einem der folgenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Metallstrukturen (7, 8) ein Gitternetz (19) von Metallstreifen (20, 21) aufweisen, wobei die Metallstreifen (21) der Unterseite (33) der Diamantplatte (6) rechtwinklig zu den Metallstreifen (20) der Oberseite (32) der Diamantplatte (6) angeordnet sind

7. Detektor nach einem der folgenden Ansprüche,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die Keramikplatte (11) Kontaktanschlußflächen (22) aufweist, die mit Außenanschlüssen des Detektors (100, 200, 300) über eine Koaxialleitung (41) verbunden sind.

8. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß der Detektor (100) einen Trägerrahmen (23), auf dem seine Detektorkomponenten fixiert sind, aufweist.

9. Detektor nach Anspruch einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß der Detektor (100, 200, 300) in einem Detektorgehäuse (43) angeordnet ist, das auf Massepotential liegt, und wobei eine metallisierte Rückseite der Keramikplatte (11) über einen gummielastischen elektrisch leitenden Puffer (48) aus Leitgummi mit dem Detektorgehäuse (43) elektrisch verbunden ist.

10. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß die Öffnung (24) in der Keramikplatte (11) kreisförmig oder nahezu viereckig ist.

11. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**,  
daß die Diamantplatte (6) eine selbsttragende durch chemische Gasphasenabscheidung gebildete polykristalline Diamantplatte (6) ist, die eine Dicke (d) im Bereich von 10  $\mu\text{m}$  bis 1000  $\mu\text{m}$ , vorzugsweise von 100  $\mu\text{m}$  bis 200  $\mu\text{m}$  aufweist.

12. Detektor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**,

daß die Diamantplatte (6) eine selbsttragende monokristalline Diamantplatte (6) ist, die eine Dicke (d) im Bereich von  $10\text{ }\mu\text{m}$  bis  $1000\text{ }\mu\text{m}$ , vorzugsweise von  $100\text{ }\mu\text{m}$  bis  $200\text{ }\mu\text{m}$  aufweist.

13. Detektor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet,**

daß die Keramikplatte (11) gedruckte Dünnfilm- oder Dickfilmleitungen als Umverdrahtungsleitungen oder Leiterbahnen (10) und passive Bauelemente in Dünnfilm- oder Dickfilmtechnik aufweist.

14. Strahlvorrichtung für hochintensive Partikelstrahlen mit  $10^5$  bis  $10^{13}$  Partikel pro Pulspaket, vorzugsweise mit  $10^7$  bis  $10^{13}$  Partikel pro Pulspaket, wobei die Strahlvorrichtung einen Detektor (100, 200, 300) nach einem der Ansprüche 1 bis 14 aufweist.

15. Verfahren zur Herstellung eines Detektors (1) zur Erfassung hochintensiver und hochenergetischer Partikelstrahlen, der eine kristalline Halbleiterplatte (3) mit Metallbeschichtung (4) aufweist und auf einem Substrat (5) angeordnet ist, wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte aufweist:

- Bereitstellen einer Substratplatte (27),
- chemische Gasphasenabscheidung einer Diamantschicht (28) aus Kohlenstoff auf der Substratplatte (27),
- Entfernen der Substratplatte (27) von der Diamantschicht (28) zur Bildung einer selbsttragenden Diamantplatte (6),
- Beschichten der Oberseite und der Rückseite der Diamantplatte (6) mit Metallstrukturen (7, 8),
- Herstellen einer Keramikplatte (11) mit zentraler Öffnung (24) und Umverdrahtungsleitungen oder Leiterbahnen mit Kontaktanschlußflächen (22) und/oder passiven Bauelementen ,

- Aufbringen der beidseitig metallisierten Diamantplatte (6) auf die Keramikplatte (11) unter Abdecken der zentralen Öffnung (24),
- Verbinden der Metallstrukturen (7, 8) der Diamantplatte (6) mit den Leiterbahnen (10) oder Metallschichten (17) auf der Keramikplatte (11),
- Fixieren der Detektorkomponenten auf einem Trägerrahmen (23).

16. Verfahren nach Anspruch 15,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zur chemische Gasphasenabscheidung einer Diamantschicht (28) aus Kohlenstoff auf der Substratplatte (27) eine carboorganische gasförmige Substanz eingesetzt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder Anspruch 16,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß die gasförmige Substanz Wasserstoff mit 0,2 bis 2 Vol.% Methan aufweist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zum Entfernen der Substratplatte (27) von der selbsttragenden Diamantschicht (28) ein Plasmaätzverfahren eingesetzt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zum Entfernen der Substratplatte (27) von der selbsttragenden Diamantschicht (28) ein chemisches Naßätzverfahren eingesetzt wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zum Beschichten der Oberseite (32) und der Rückseite (33) der Diamantplatte (6) mit einer Metallschicht (12, 13) ein Sputter-, Aufdampf- oder Sinterverfahren eingesetzt wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 20,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zum Beschichten der Oberseite (32) und/oder der Rückseite (33) der Diamantplatte (6) mit einer Metallstruktur (7, 8) ein Sputter- oder Aufdampfverfahren durch eine Maske eingesetzt wird.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 21,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zum Beschichten der Oberseite (32) und der Rückseite (33) der Diamantplatte (6) mit einer Metallstruktur (7, 8) zunächst eine Metallschicht (12, 13) aufgebracht wird, der anschließend mittels Photolithographie strukturiert wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 22,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zum Beschichten der Oberseite (32) und der Rückseite (33) der Diamantplatte (6) mit einem metallischen Streifenmuster (20, 21) zunächst eine Metallschicht (12, 13) aufgebracht wird, und anschließend Isolationsgräben oder Längsnuten in die Metallschicht (12, 13) photolithographisch eingebracht werden.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 23,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß zum Aufbringen von Umverdrahtungsleitungen oder Leiterbahnen (10), Kontaktanschlußflächen (22), und/oder passiven

Bauelementen auf die Keramikplatte (11) Dünnsfilm- oder Dickfilmverfahren eingesetzt werden.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß zum Verbinden der Metallstrukturen (7, 8) der Diamantplatte (6) mit Umverdrahtungsleitungen oder Leiterbahnen (10) auf der Keramikplatte (11) ein Bondverfahren eingesetzt wird.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche zu 15 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß zum Fixieren der Detektorkomponenten auf einem Trägerrahmen (23) ein metallischer Halterahmen (34) vorgesehen wird, der gleichzeitig über eine Leiterbahn auf der Keramikplatte (11) eine Massepotentialverbindung herstellt.

27. Verwendung des Detektors gemäß einem der Ansprüche 1 bis 14 zur Erfassung hochintensiver Teilchenstrahlen einer Strahlvorrichtung mit Strahlintensitäten von  $10^5$  bis  $10^{13}$  Partikel pro Pulspaket, vorzugsweise mit Strahlintensitäten von  $10^7$  bis  $10^{13}$  Partikel pro Pulspaket.

Fig. 1

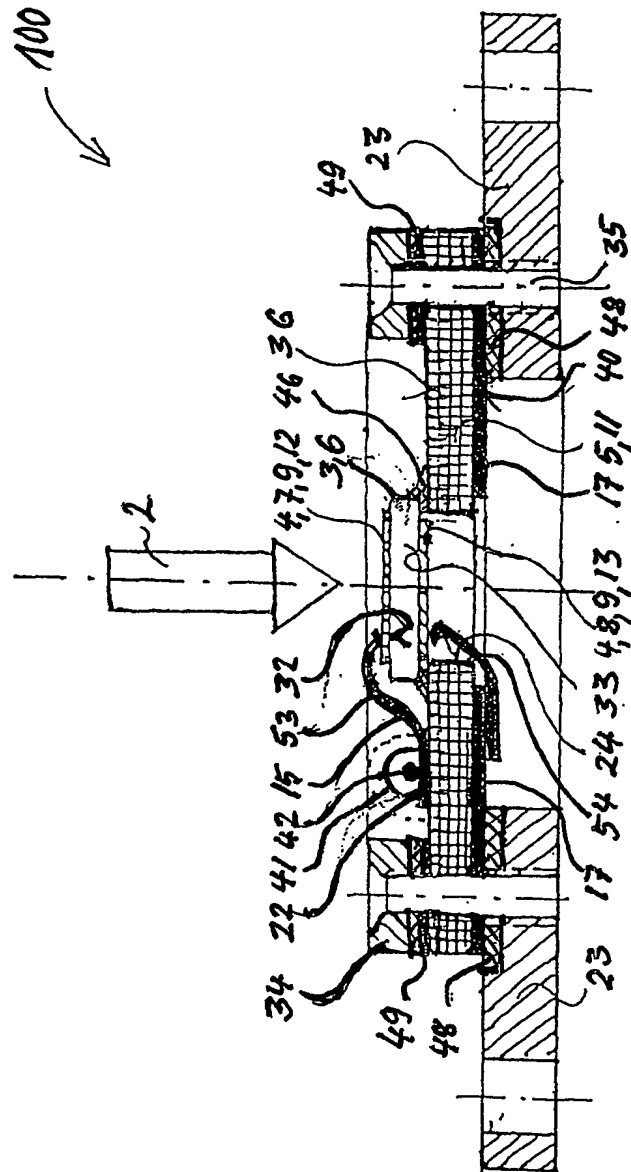


Fig. 2

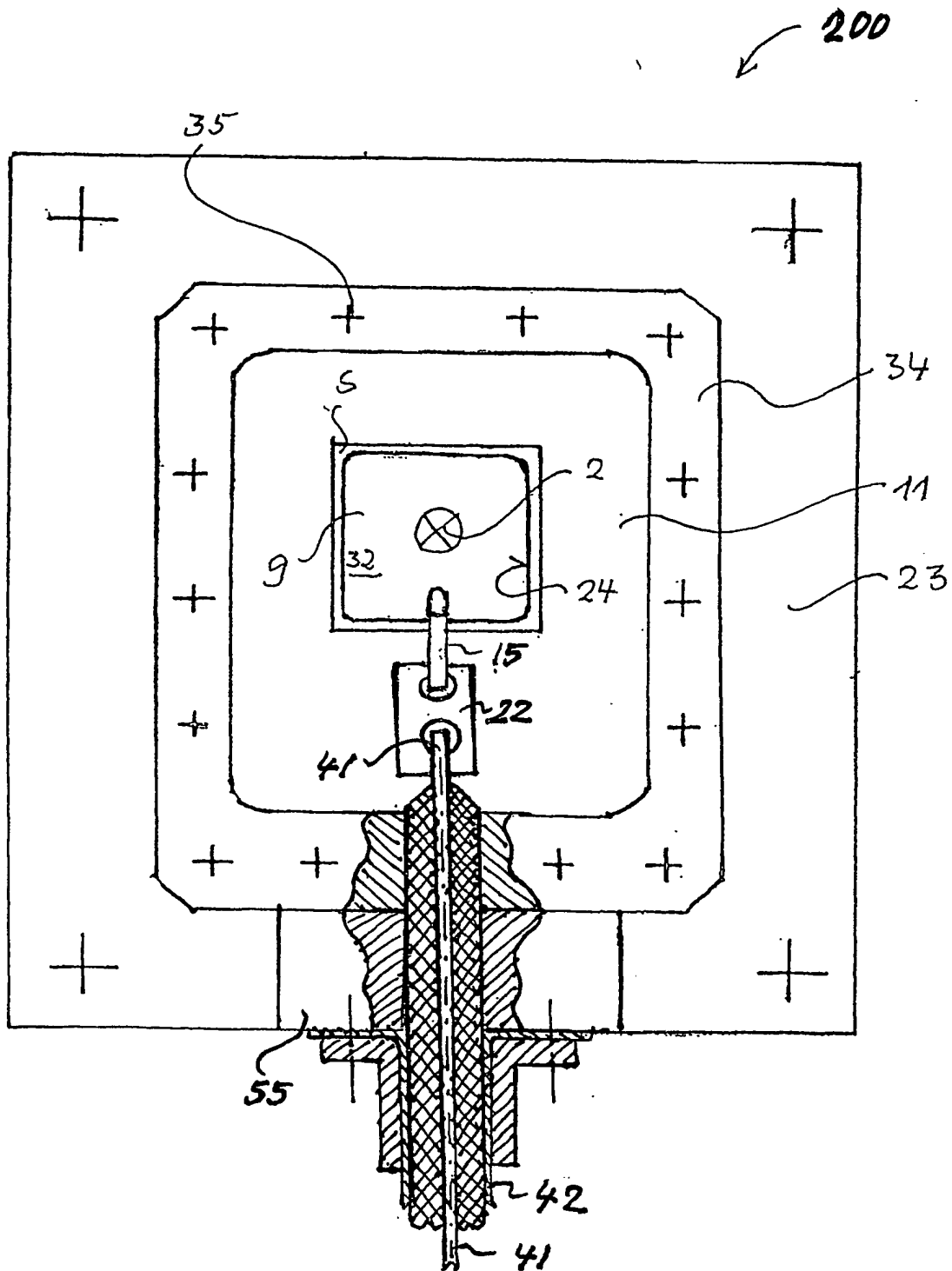




Fig. 3

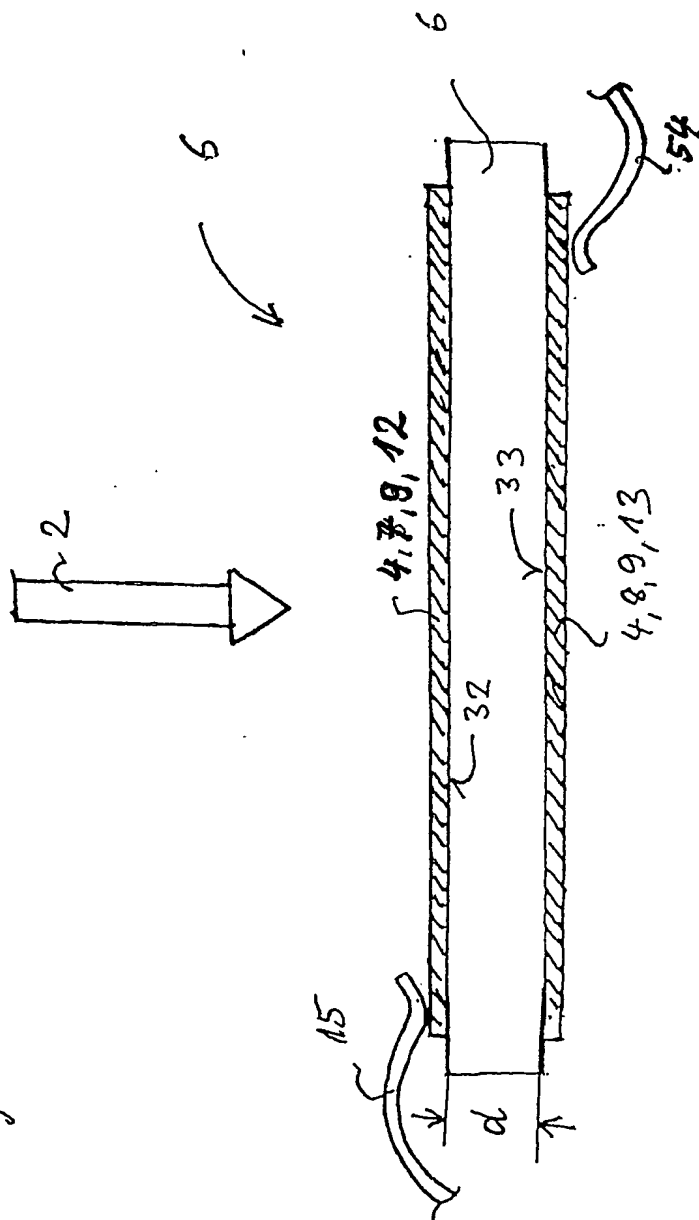
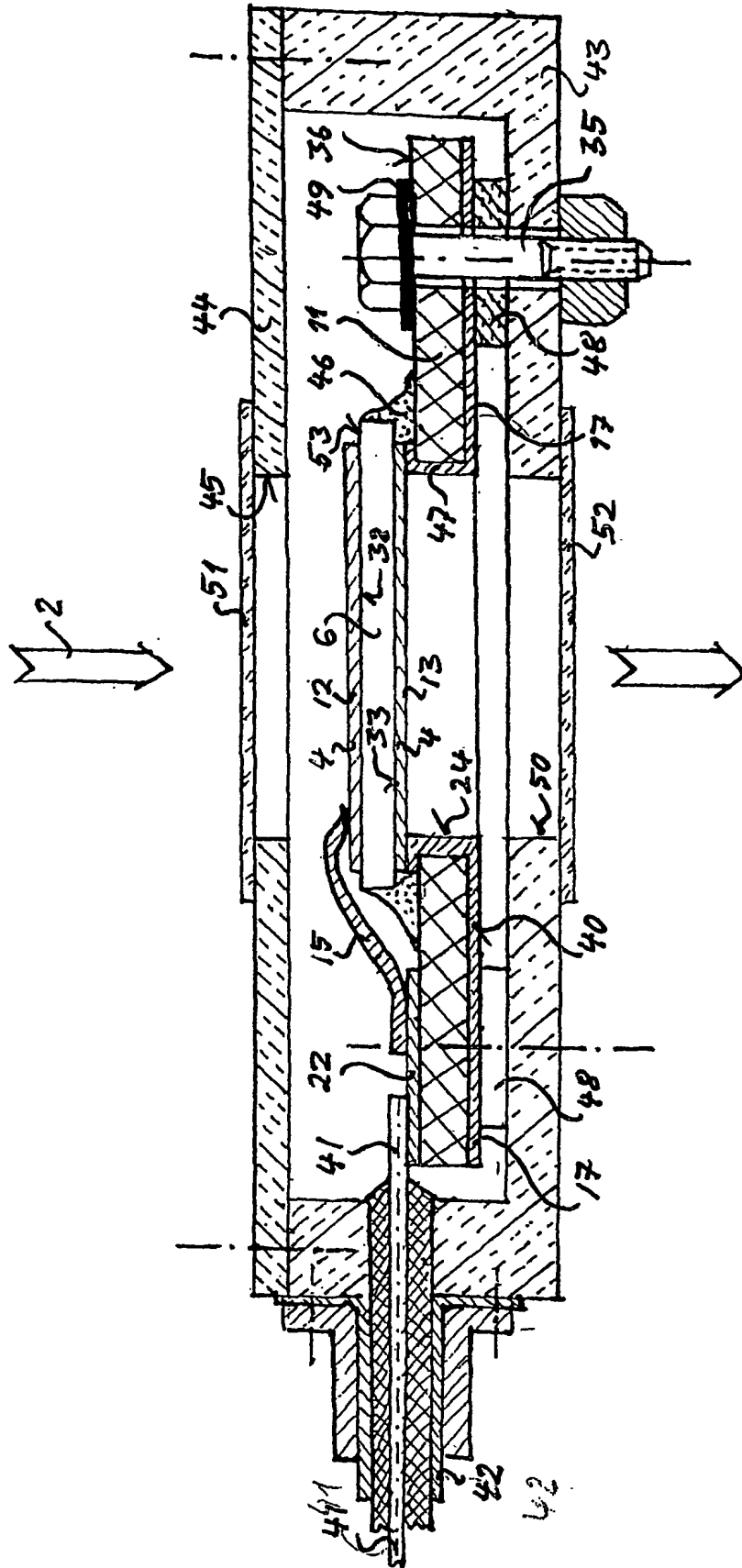


Fig. 4

300



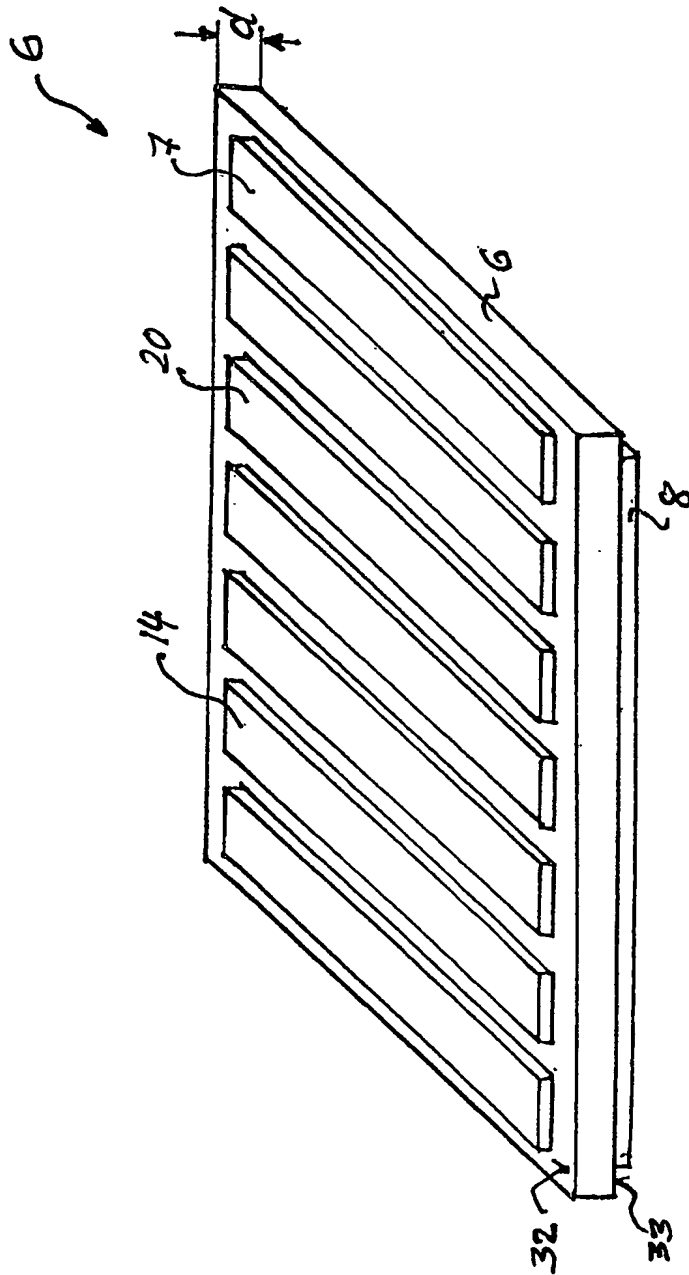


Fig. 5

6/9

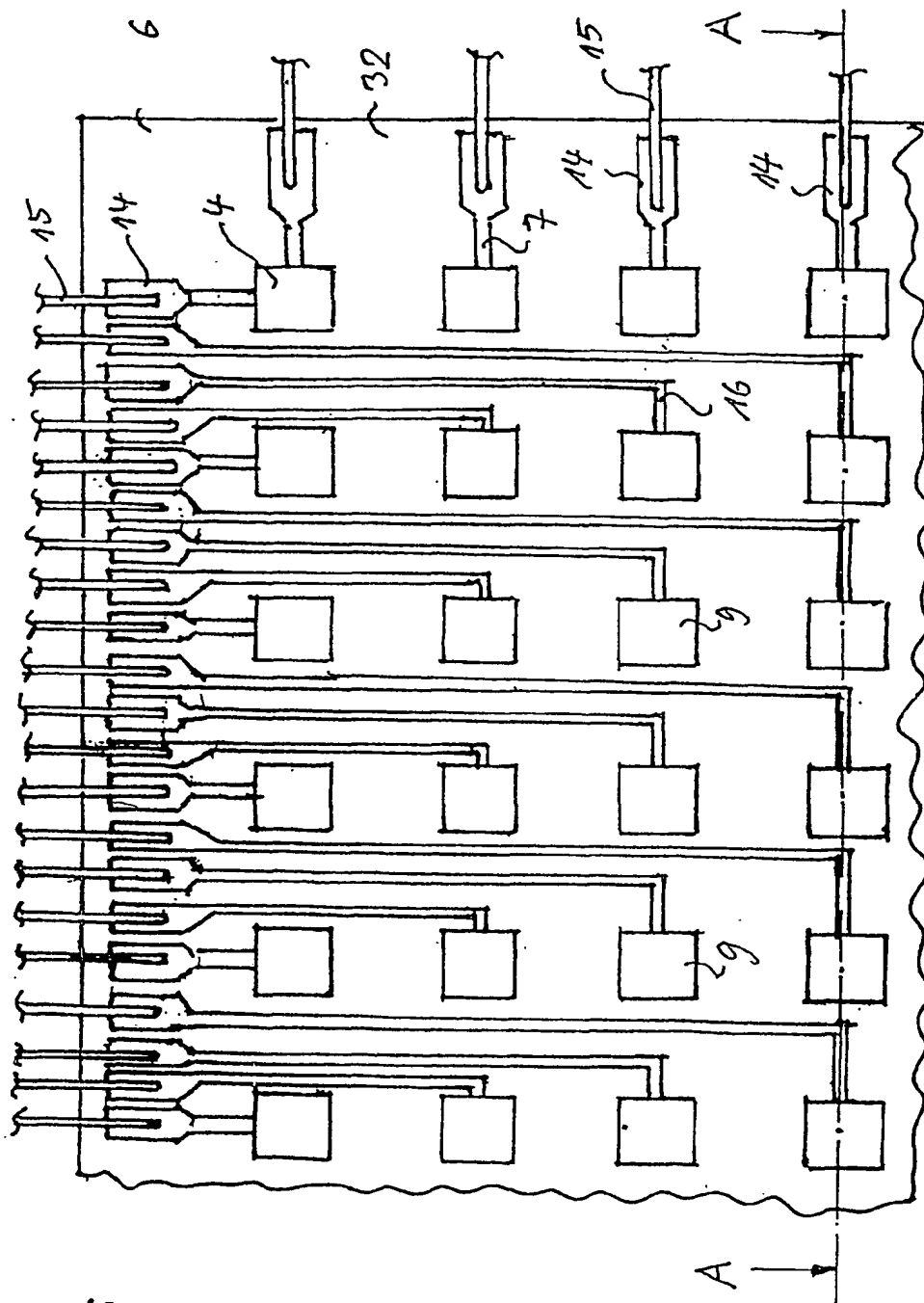


Fig. 6

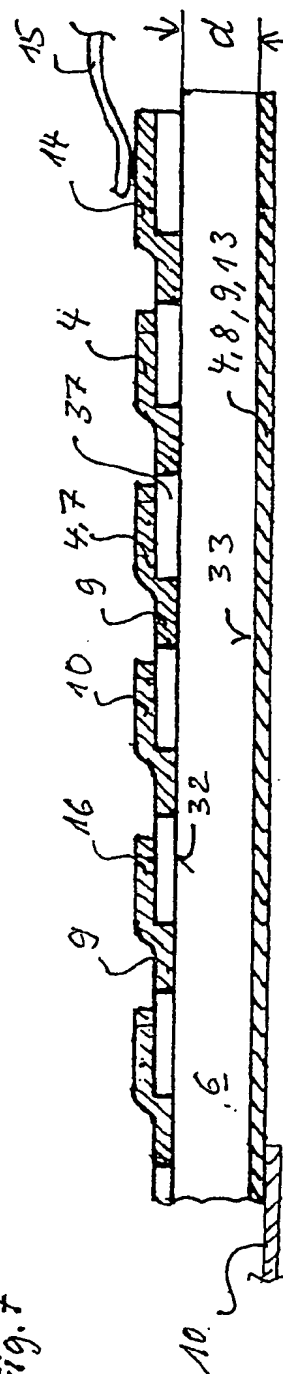


Fig. 7

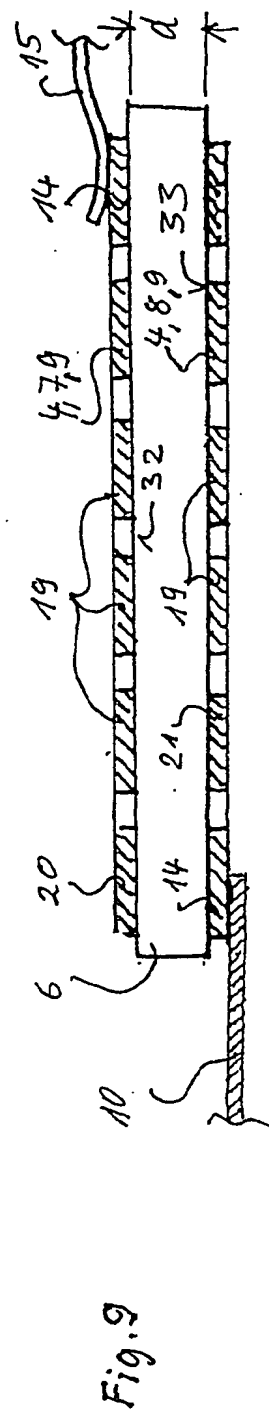
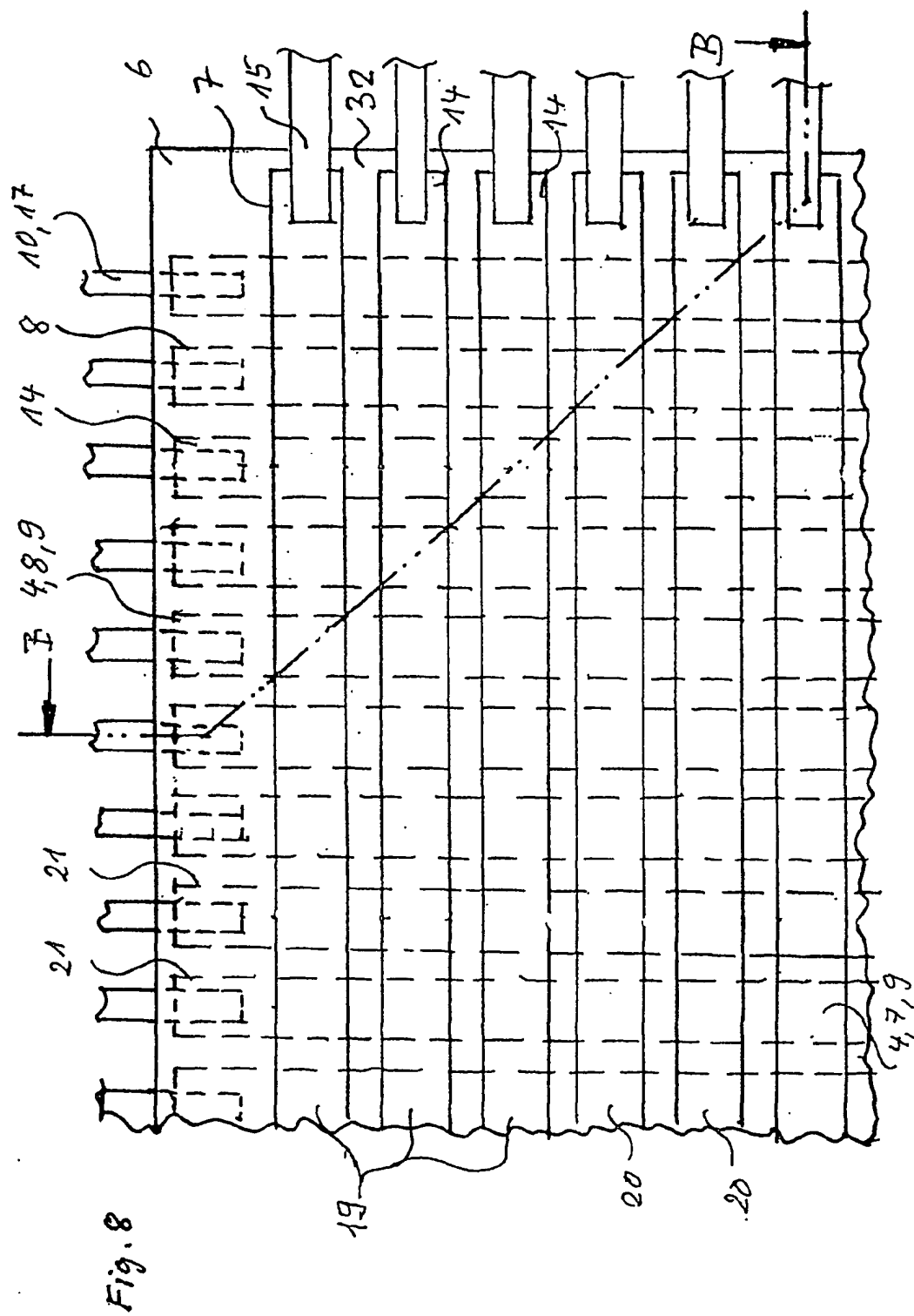


Fig. 10

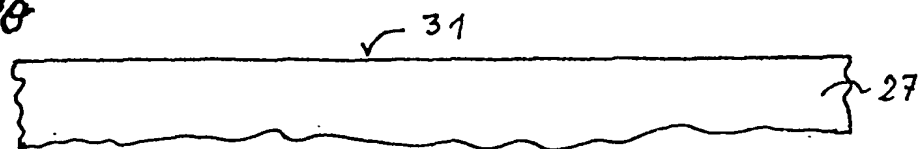


Fig. 11

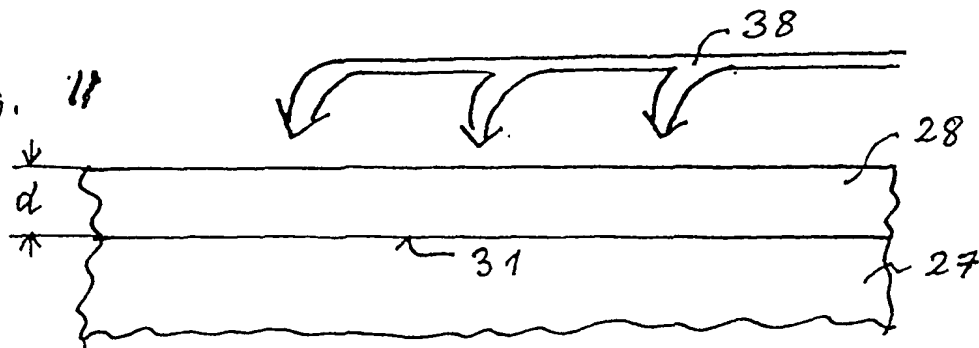


Fig. 12

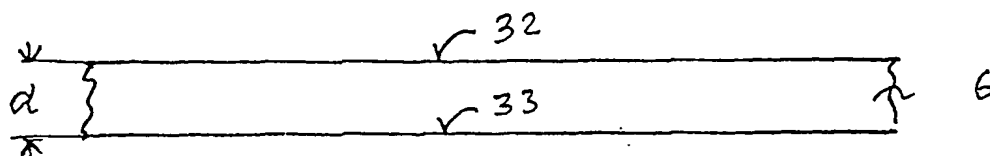


Fig. 13

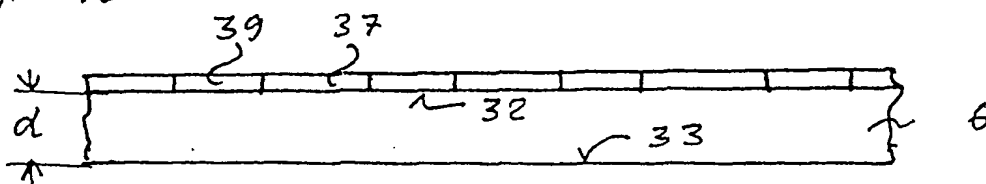


Fig. 14

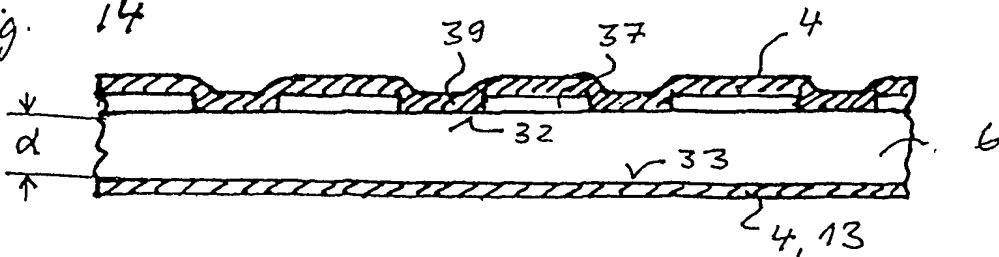
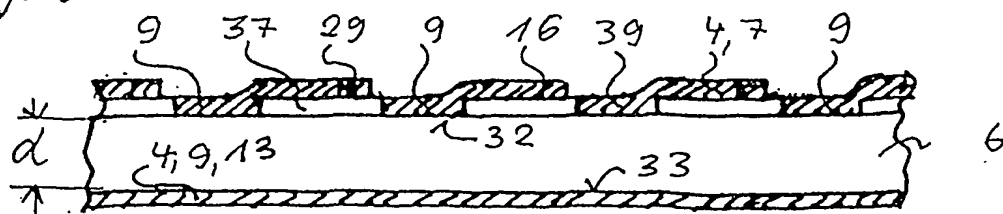
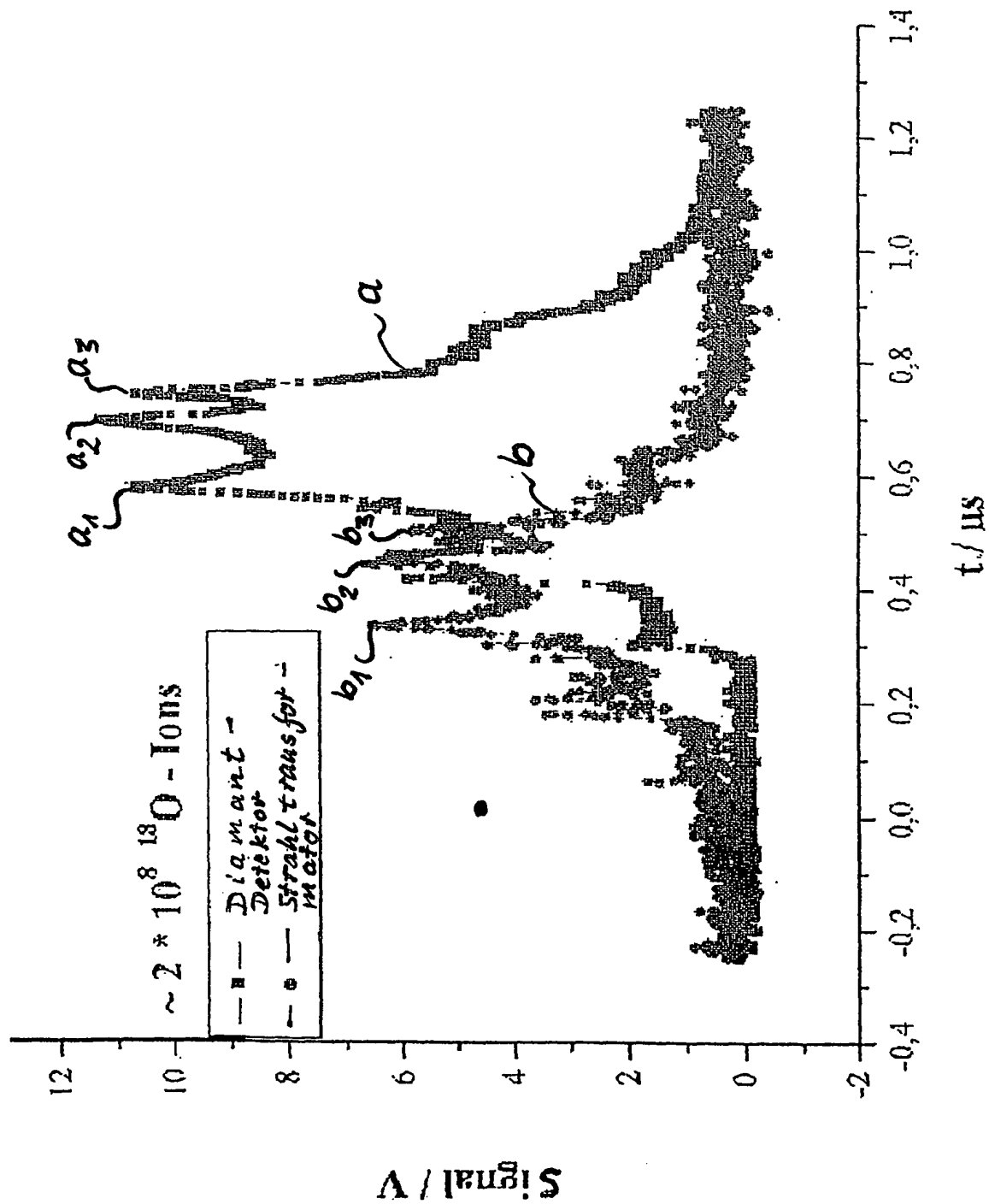


Fig. 15



9/9

Fig. 16



BEST AVAILABLE COPY